

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



**KONSTRUKCE DRŽÁKŮ SEDADEL SOUTĚŽNÍHO VOZU
NEW DESIGN OF THE SEAT HOLDERS FOR A RACE CAR**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

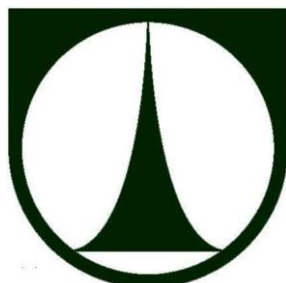
BC. VOJTĚCH PETROVICKÝ

Květen 2013

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor

2302T010 / Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření

Kolové dopravní a manipulační stroje

KONSTRUKCE DRŽÁKŮ SEDEDEL SOUTĚŽNÍHO VOZU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

KVM – DP – 657

BC. VOJTĚCH PETROVICKÝ

Vedoucí diplomové práce:	Doc. Dr. Ing. Pavel Němeček
Konzultant diplomové práce:	Václav Trkola, ŠKODA Motorsport, ŠKODA Auto a.s.
Počet stran:	64
Počet obrázků:	51
Počet tabulek:	15
Počet příloh:	3

Květen 2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Bc. Vojtěch PETROVICKÝ
studijní program	N2301 Strojní inženýrství
obor	2302T010 Konstrukce strojů a zařízení
zaměření	Kolové dopravní a manipulační stroje

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

KONSTRUKCE DRŽÁKŮ SEDADEL SOUTĚŽNÍHO VOZU

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

- 1) Popište soutěžní vůz a držáky, kterými je v současném provedení řešeno upevnění sedadel.
- 2) Provedte rešerši legislativního zázemí v oblasti upevnění sedadel soutěžních vozů.
- 3) Konstrukčně zpracujte návrh nových držáků sedadel soutěžního vozu.
- 4) Zhodnoťte navržené řešení z hlediska optimalizace tuhosti, hmotnosti a zlepšení pasivní bezpečnosti.
- 5) Během řešení diplomové práce spolupracujte se Škoda Motorsport firmy ŠA, a.s.

Zadání vzniklo ve spolupráci s oddělením Škoda Motorsport firmy Škoda Auto, a.s..



Forma zpracování diplomové práce:

Průvodní zpráva: cca 50 stran textu vč. příloh dílčích výsledků.

K tištěným svazkům originálu diplomové práce bude přiložena výkresová dokumentace.

Text celé diplomové práce včetně příloh a výkresů bude v elektronické formě přiložen na CD nosiči ke svazku diplomové práce.

Seznam literatury (uvedte doporučenou odbornou literaturu):

- | 1 | Podklady Škoda Motorsport
- | 2 | Pešík, L.: Části strojů I, TU v Liberci, 2008
- | 3 | Beroun, S.-Scholz, C.: Základy automobilové techniky, Vysoká škola Škoda Auto, a.s., Mladá Boleslav, 2003

Vedoucí diplomové práce: doc. Dr. Ing. Pavel Němeček - TU v Liberci, KVM

Konzultant diplomové práce: Václav Trkola – Škoda Motorsport, Škoda Auto, a.s.

L.S.



Ing. Robert Voženílek, Ph.D.

vedoucí katedry



doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.

děkan

V Liberci dne 1. 11. 2012

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeném lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

Anotace

Téma

Konstrukce držáků sedadel soutěžního vozu

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou uchycení sedadel v soutěžním vozu a jeho vlivem na pasivní bezpečnost posádky. Na začátku práce je uvedena rešerše předpisů platných pro tuto oblast. Dále jsou rozebrána konkrétní praktická řešení použitá v soutěžních vozech různých výrobců a také ve vozech firmy ŠKODA Auto a.s. Současné řešení držáků sedadel vozu ŠKODA Fabia S2000 je pak podrobena pevnostní analýze pomocí metody konečných prvků. Na základě výsledků tohoto zkoumání byl vypracován návrh inovovaných držáků sedadel. Jejich výrobní výkresy obsahuje tato diplomová práce formou přílohy. Nakonec je provedeno porovnání obou řešení uchycení sedadel, zejména z hlediska tuhosti, hmotnosti a zlepšení pasivní bezpečnosti, s posouzením jejich výhod a nevýhod.

Annotation

Subject

New design of the seat holders for a race car

Annotation

The theme of this thesis is the issue of seat mountings used in the rally race cars and their effect on the passive automotive safety. The work looks into the legal regulations related to this matter and also pursues the specific real-life applications used in the Skoda Auto race cars. The main goal is to create an innovative design of the seat mountings and to perform its analysis and optimization. Additional goal is to perform an analysis of the seat holders currently used in SKODA Fabia S2000 model. Finally there is a comparison of both above mentioned solutions with accent to assess the improvement of structural stiffness, weight and passive safety. The advantages and disadvantages of each solution are pointed out throughout the work.

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci, dále jen TUL, nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro svou vnitřní potřebu.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Mladé Boleslavi dne 24.5.2013



Bc. Vojtěch Petrovický

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří se cennými radami podíleli na obsahu této diplomové práce, zvláště celému oddělení vývoje karoserie oddělení ŠKODA Motorsport firmy ŠKODA Auto a.s. Dále pak děkuji panu Doc. Dr. Ing. Pavlu Němečkovi za kvalitní vedení. Mé díky patří samozřejmě také mým rodičům – absolventům strojní fakulty TUL – za užitečné připomínky k práci a podporu během celého studia.

Klíčová slova

automobily, soutěžní vozy, závodní sedadla, motorsport, rallye, FIA, ŠKODA Auto, SPARCO, Recaro, pasivní bezpečnost, technická konstrukce, pevnostní analýza, CAD

Key Words

cars, race cars, race seats, motorsport, rally, FIA, SKODA Auto, SPARCO, Recaro, passive safety, technical design, stress analysis, CAD

Seznam symbolů a jednotek

Základní a odvozené veličiny soustavy SI, jejich díly a násobky

Obsah

1. Úvod	9
1.1 Téma diplomové práce	9
1.2 Cíle diplomové práce	9
1.3 Zadavatel diplomové práce	9
2. Legislativní požadavky a jejich realizace v praxi	10
2.1 Technické požadavky dané legislativou	10
2.1.1 Sedadla	10
2.1.2 Kotvící body (1)	15
2.1.3 Držáky sedadel (1)	16
2.2 Praktické aplikace v soutěžních vozech	17
2.2.1 Peugeot 208	17
2.2.2 Citroën DS3 S2000	19
2.2.3 Ford Fiesta S2000	21
2.2.4 ŠKODA Fabia S2000	23
3. Analýza stávajících držáků sedadel vozu ŠKODA Fabia S2000	28
3.1 Použitý software a metodika analýzy	28
3.1.1 Modely součástí	28
3.1.2 Parametry analýzy	30
3.2 Analýzy stávajících držáků sedadel v konkrétních nastaveních	37
3.2.1 Držáky sedadla pilotů Jana Kopeckého, Esapekka Lappiho a Juho Hänninena	38
3.2.2 Držáky sedadla spolujezdců Pavla Dreslera a Janne Ferma	41
3.2.3 Držáky sedadla spolujezdce Mikko Markkuly	44
3.2.4 Závěry z analýzy stávajících držáků sedadel	47
4. Návrh a analýza inovovaných držáků sedadel soutěžního vozu	49
4.1 Konstrukční návrh inovovaných držáků sedadel	49
4.2 Analýzy inovovaných držáků sedadel v konkrétních nastaveních	53
4.2.1 Držáky sedadla pilotů Jana Kopeckého, Esapekka Lappiho a Juho Hänninena	54
4.2.2 Držáky sedadla spolujezdce Pavla Dreslera a Janne Ferma	57
4.2.3 Držáky sedadla spolujezdce Mikko Markkuly	60
5. Závěr	63
6. Přílohy A, B, C	67

1. Úvod

1.1 Téma diplomové práce

Tématem této práce je problematika uchycení sedadel v soutěžním vozu a jeho vliv na pasivní bezpečnost posádky. Zabývá se jednak předpisy platnými pro tuto oblast a dále pak konkrétními praktickými řešeními v soutěžních vozech firmy ŠKODA Auto a.s i jiných výrobců.

1.2 Cíle diplomové práce

Tato diplomová práce si jako hlavní cíl klade provést konstrukční návrh, analýzu a optimalizaci inovovaných držáků sedadel soutěžního vozu ŠKODA Fabia S2000. Dílčím cílem je pak provést analýzu stávajícího řešení držáků sedadel tohoto vozu. Dalším důležitým cílem je porovnání obou těchto řešení, zejména z hlediska tuhosti, hmotnosti a zlepšení pasivní bezpečnosti, s posouzením jejich výhod a nevýhod. Dále se předpokládá provedení rešerše legislativního zázemí v dané oblasti.

1.3 Zadavatel diplomové práce

Zadavatelem tématu diplomové práce je Katedra vozidel a motorů Technické univerzity v Liberci. Téma bylo vytvořeno ve spolupráci s firmou ŠKODA Auto a.s. se sídlem v Mladé Boleslavi, konkrétně s jejím oddělením ŠKODA Motorsport – TS. Součástí práce byla odborná praxe v tomto oddělení v délce trvání patnácti měsíců. Během ní mi byla dána možnost seznámit se s chodem tohoto profesionálního pracoviště, podílet se na některých projektech a také mi bylo nabídnuto toto téma diplomové práce. K němu mi byly poskytnuty vybrané materiály, některé CAD podklady a další zdroje. Těmi byly například informační systémy koncernu Volkswagen či konzultace s pracovníky TS a ostatních oddělení Technického vývoje ŠKODA Auto.

2. Legislativní požadavky a jejich realizace v praxi

2.1 Technické požadavky dané legislativou

Legislativní zázemí v oblasti držáků sedadel soutěžních vozů upravuje Mezinárodní automobilová federace (Fédération Internationale de l'Automobile, dále jen FIA). Na kategorii vozů světových rallye (FIA World Rally Championship) se vztahuje konkrétně Článek 253-2013 (Article 253-2013 Safety Equipment) (1), který specifikuje požadavky na bezpečnostní vybavení soutěžních vozů skupin A, N, Super 1600, Super 2000 a WRC.

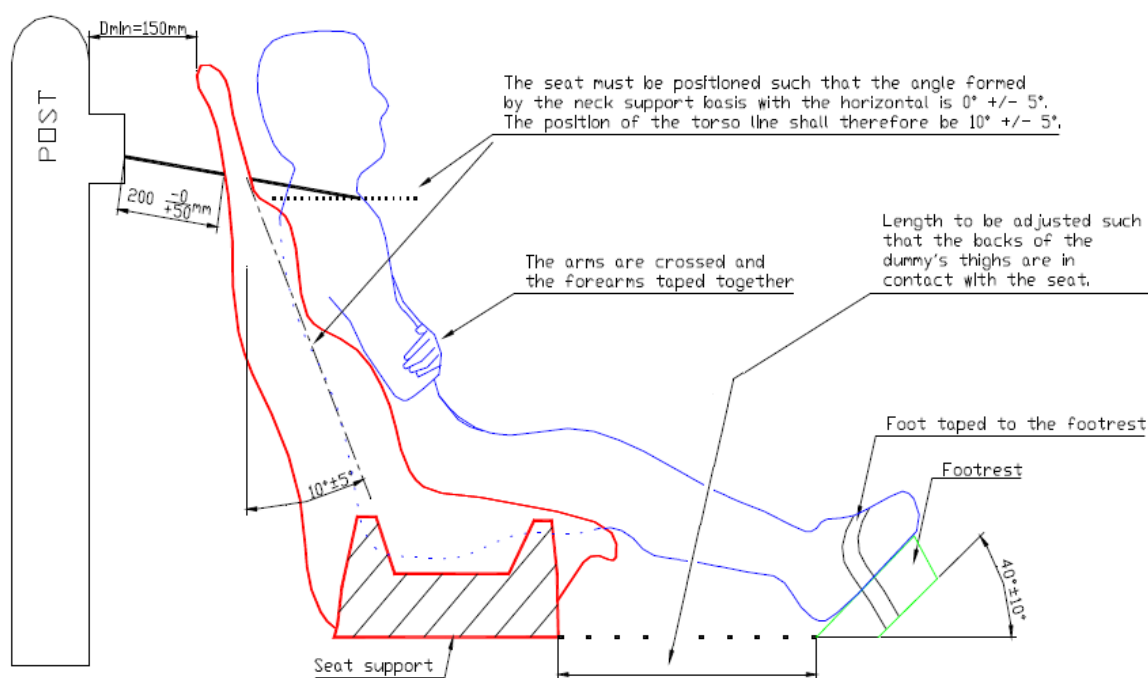
2.1.1 Sedadla

V současné době je v soutěžních vozech možné použít dva druhy sedadel. Jedním jsou sedadla, která byla homologována dle FIA standardu 8855-1999 (2), druhým pak sedadla homologovaná dle FIA standardu 8862-2009 (3). Nový standard byl vyvinut ve spolupráci několika institutů FIA a zástupců amerického okruhového šampionátu NASCAR na základě analýz záznamů dat z nehod a laboratorních testů. Standard 8862-2009 se od staršího 8855-1999 liší především metodikou homologačních zkoušek.

V obou případech se zároveň se sedadlem testují i jemu příslušné držáky. Těch může výrobce homologovat více variant tak, aby jejich možné nastavení pokrylo co největší spektrum fyzických proporcí členů posádek. Pro soutěžní vozy skupin A, N, Super 1600, Super 2000 a WRC ovšem není použití těchto držáků povinné a výrobci si mohou nechat homologovat držáky vlastní konstrukce.

2.1.1.1 FIA standard 8855-1999 (2)

V tomto starším standardu se pro hodnocení sedadla používá způsob na bázi crash testu. Do sedadla je pomocí homologovaných, minimálně čtyřbodových bezpečnostních pasů upevněna testovací figurína typu Hybrid-II nebo Hybrid-III. Sedadlo se pomocí příslušných držáků uchytlí na speciální podvozek a celá soustava je následně celkem třikrát katapultována proti pevné překážce tak, aby bylo dosaženo definovaných přetížení.



Obrázek 1: Uchycení sedadla s testovací figurínou na speciální podvozek dle FIA standardu 8855-1999 (2)

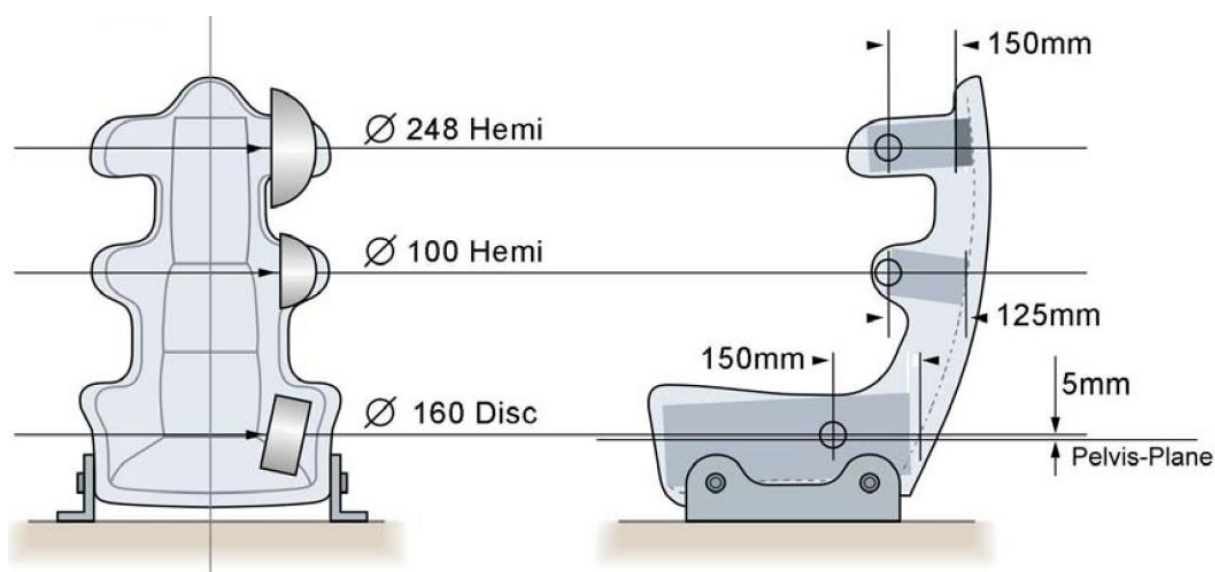
Při prvním testu se jedná o simulaci zadního nárazu s přetížením minimálně 20 G po dobu alespoň 50 ms. Při druhém chodu jde o boční náraz s minimálním přetížením 15 G po dobu alespoň 50 ms. Zkouška je zakončena třetím testem. Jde opět o zadní náraz, tentokrát s přetížením nejméně 10 G po dobu minimálně 50 ms. Účelem posledního chodu je ověřit, že sedadlo s držáky zůstane bez poškození i po dalším, byť slabším nárazu. Sedadlo vyrobené na základě této homologace má životnost omezenou na 5 let s možností prodloužení o další maximálně 2 roky.

2.1.1.2 FIA standard 8862-2009 (3)

Nový standard 8862-2009 používá pro hodnocení sedadel místo dynamického quasi-statické zatěžování. To zaručuje přesnější a opakovatelné výsledky. Sedadlo včetně držáků se podrobí celkem třem testům, při kterých se zatíží na různých místech hydraulickými válci. Celkové zatížení při každém z testů překračuje 3000 kg a simuluje přetížení okolo 70 G, tedy až 2,5 krát více než podle staršího standardu. Metodika založená na základě simulace bočního a zadního nárazu dle tohoto nového standardu je použita dále v této práci pro FEM analýzu stávajících i inovovaných držáků sedadel (viz kapitoly 3 a 4).

Ve všech třech testech je sedadlo upevněno v držácích, které jsou přichyceny na zkušební stoli. Pokud mají držáky možnost nastavení vertikální polohy sedadla, umístí se sedadlo do pozice, ve které se předpokládá nejmenší tuhost držáků. Obvykle je touto polohou ta nejvyšší možná.

V prvním testu, který simuluje boční náraz, se na sedadlo aplikují simultánně po dobu alespoň 5 s síly 7 kN v oblasti hlavy, 11 kN v oblasti ramen a 14 kN v pánevní oblasti a kontrolují se posuvy v příslušných místech. Ty musí vyhovovat hodnotám uvedeným v tabulce 1.

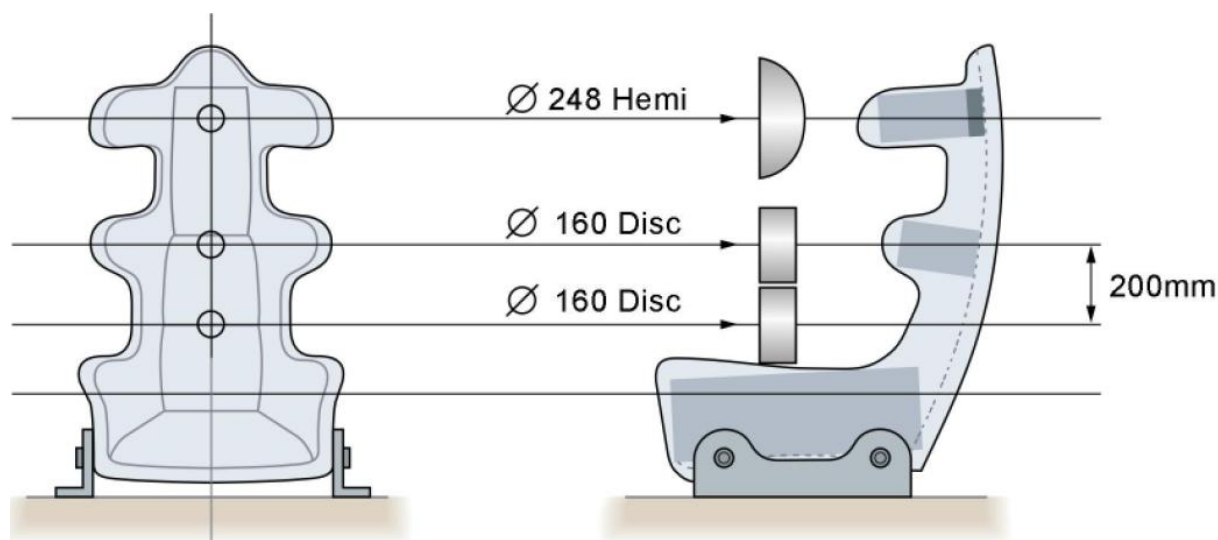


Obrázek 2: Místa zatížení sedadla při simulaci bočního nárazu dle FIA standardu 8862-2009 (3)

Oblast sedadla	Aplikované zatížení [kN]	Maximální posuv [mm]
Oblast temene hlavy	0	100
Oblast lopatek	0	80
Oblast boční opěrky hlavy	7	80
Oblast boční opěrky ramen	11	60
Oblast boční opěrky pánve	14	40

Tabulka 1: Zatížení a maximální posuvy při simulaci bočního nárazu dle FIA standardu 8862-2009 (3)

Ve druhém testu, který simuluje zadní náraz, je sedadlo opět simultánně podrobeno po dobu 5 s třem silám. V oblasti hlavy jde o sílu o velikosti 7 kN, v oblasti lopatek 14 kN a v oblasti bederní páteře také 14 kN. Ve stejných místech se měří posuvy, které se následně porovnávají s maximálními přípustnými hodnotami, uvedenými v tabulce 2.



Obrázek 3: Místa zatížení sedadla při simulaci zadního nárazu dle FIA standardu 8862-2009 (3)

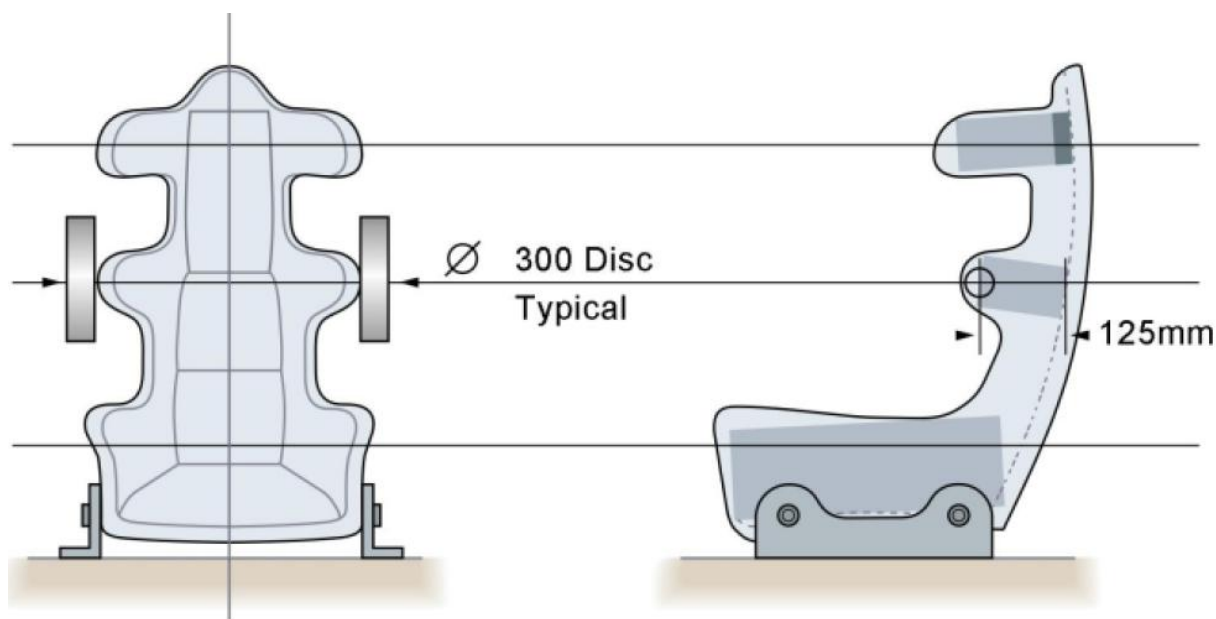
Oblast sedadla	Aplikované zatížení [kN]	Maximální posuv [mm]
Oblast temene hlavy	7	120
Oblast lopatek	14	100
Oblast bederní páteře	14	80

Tabulka 2: Zatížení a maximální posuvy při simulaci zadního nárazu dle FIA standardu 8862-2009 (3)

Poslední test je pak zaměřen na odolnost sedadla proti smáčknutí v bočním směru. Na sedadlo se z obou stran v oblasti ramen aplikují síly do doby, než nastane jedna z následujících situací:

1. Zatěžující síla překročí 30 kN
2. Součet posuvů pravé a levé strany překročí 200 mm
3. Absorbovaná energie překročí 1 kJ

Poté se určí, zda nastaly plastické deformace nebo případně i poškození sedadla.



Obrázek 4: Místa zatížení sedadla při simulaci smáčknutí dle FIA standardu 8862-2009 (3)

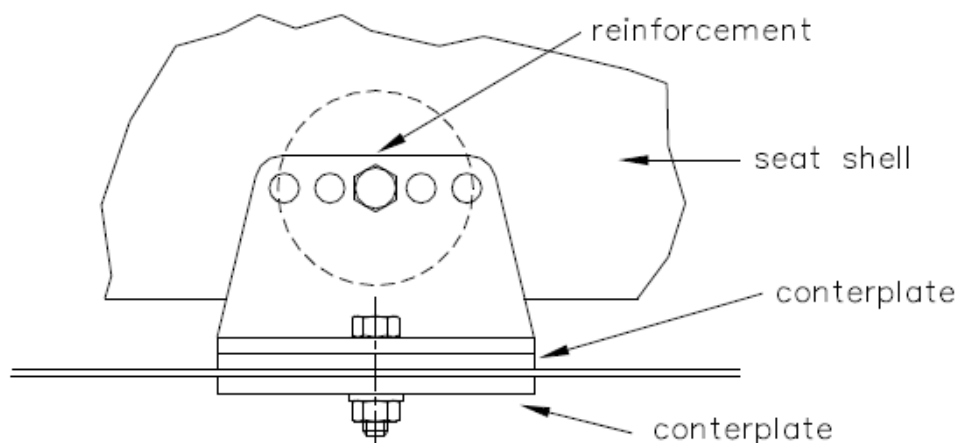
Sedadlo vyrobené na základě této homologace dále obsahuje oproti tomu, které bylo vyrobeno podle homologace dle FIA standardu 8855-1999, například elementy z hmoty pohlcující energii. Ty jsou umístěny v oblasti pánve, ramen a hlavy. Životnost takového sedadla je pak stanovena na 10 let.

2.1.2 Kotvicí body (1)

Dle Článku 253-2013 (1) je pro připevnění držáků sedaček do karoserie soutěžního vozu možné použít jeden ze čtyř následujících typů kotvicích bodů. V každém případě musí být splněna podmínka, která stanovuje, že držáky jsou do karoserie uchyceny minimálně čtyřmi šrouby o průměru dříku alespoň 8 mm.

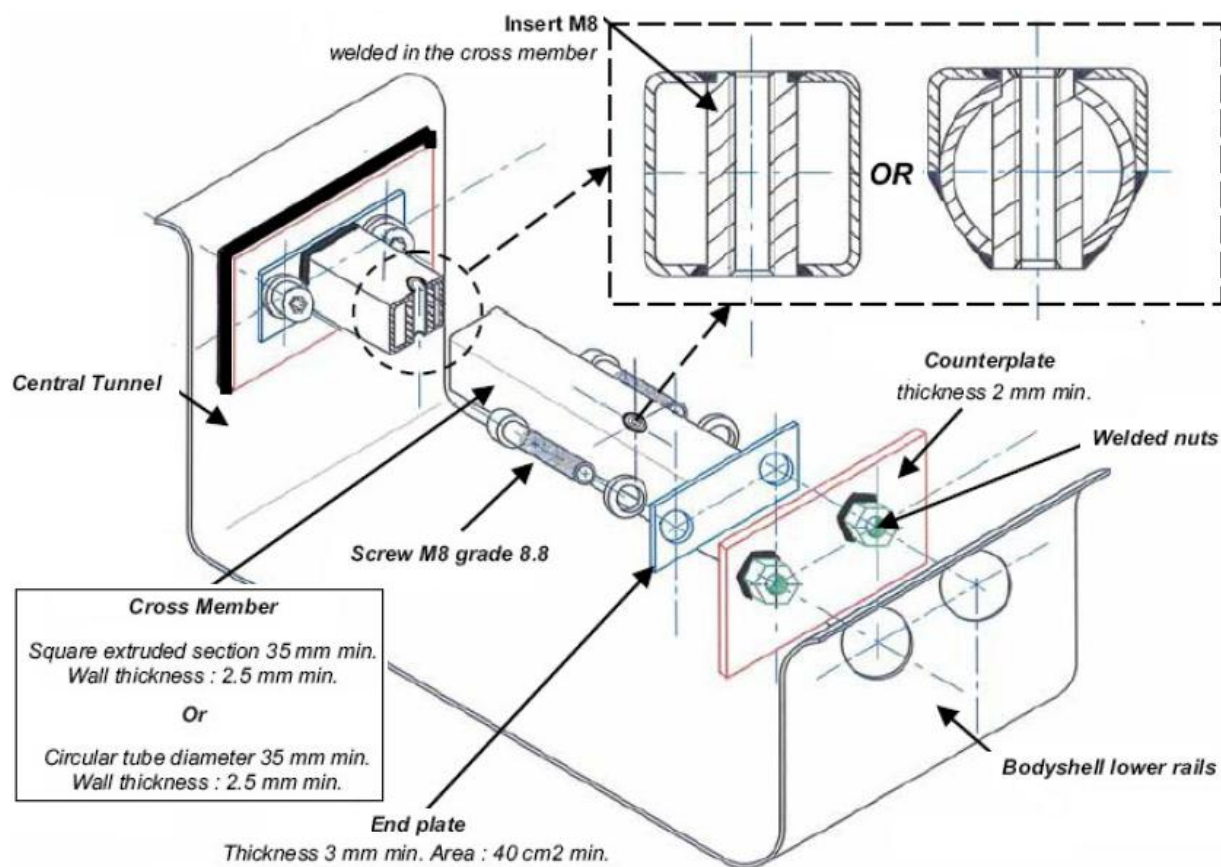
První možností je použití kotvicích bodů sedadel sériového modelu.

Druhým způsobem je pak připevnění držáků sedadel pomocí šroubových spojů přímo do karoserie vozu. Podmínkou tohoto provedení je splnění požadavků vyplývajících z obrázku 5 (viz níže). V tomto případě je nutné použití dvou výztužných desek s kontaktní plochou alespoň 40 cm² na každém kotvicím bodě.



Obrázek 5: Způsob uchycení držáků sedadel do karoserie vozu (1)

Třetí možností je použití sestavy nosníku, která vyhovuje nákresu na obrázku 6 (viz níže). Ta se ve voze umístí napříč mezi středový tunel a boční stěnu karoserie pomocí šroubů M8. Je možné použít trubku čtvercového profilu o straně alespoň 35 mm a tloušťce stěny nejméně 2,5 mm nebo trubku kruhového průřezu o průměru alespoň 35 mm se stejnou minimální tloušťkou stěny a výztužným prvkem ve tvaru „U“ v horní části. V trubce jsou navařena závitová pouzdra M8 pro přichycení držáků sedaček.



Obrázek 6: Způsob uchycení držáků sedadel pomocí sestavy nosníku (1)

Posledním možným způsobem je pak vývoj a homologace vlastního řešení konstrukce kotvicích bodů držáků sedadel výrobcem soutěžního vozu.

2.1.3 Držáky sedadel (1)

Článek 253-2013 (1) stanoví pro soutěžní vozy rallye výjimku z pravidla o povinném použití držáků, které byly homologovány spolu se sedadlem. Výrobce vozu si tedy může zažádat o homologaci držáků vlastní konstrukce. Ty přitom musí splňovat všechny následující podmínky:

1. Minimální délka každého z držáků je 60 mm.
2. Minimální tloušťka stěny držáku je 3 mm pro ocel a 5 mm při použití lehkých slitin.
3. Každé sedadlo musí být připevněno čtyřmi šrouby (dva vpředu a dva vzadu) o minimálním průměru dříku 8 mm. Každý z těchto spojů musí být schopen udržet sílu o velikosti 15000 N působící v kterémkoliv směru.

2.2 Praktické aplikace v soutěžních vozech

Vozy s držáky homologovanými podle předpisu FIA Článek 253-2013 (1) dnes soutěží v několika mezinárodních soutěžích a mnoha národních šampionátech.

Nejvyšší soutěží je mistrovství světa v rallye – WRC (World Rally Championship; vozy kategorie WRC), které se sestává ze třinácti jednotlivých podniků v různých zemích světa. V jeho rámci se konají další podpůrné šampionáty – především WRC-2 (původně nazvané Super 2000 World Rally Championship; vozy kategorie Super 2000), WRC-3 (dříve Production World Rally Championship; vozy skupiny N) a JWRC (Junior World Rally Championship, původně WRC Academy). Tato mistrovství se konají na stejných tratích jako WRC a liší se pouze restrikcemi na použité vozy. (4)

Dalším významným šampionátem je mistrovství Evropy v rallye – ERC (European Rally Championship), které se od sezóny 2013 sloučilo s populární soutěží IRC (Intercontinental Rally Challenge). Tohoto seriálu, který obsahuje 13 jednotlivých podniků, se mohou účastnit vozy kategorie Super 2000 nebo skupiny N. (5)

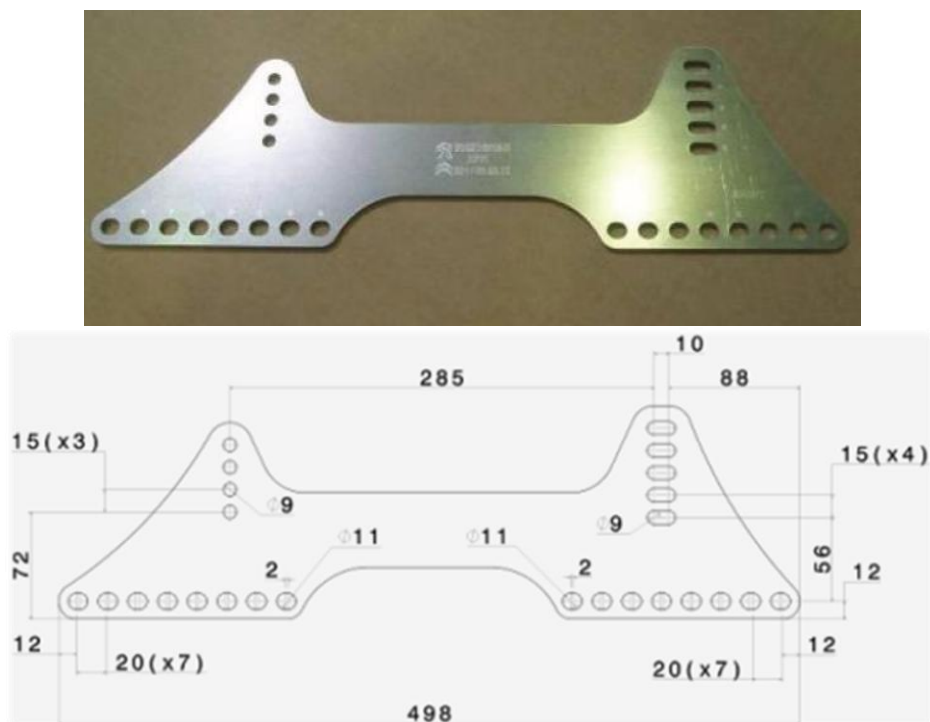
V této kapitole jsou rozebrána technická řešení držáků sedadel některých soutěžních vozů různých kategorií a výrobců a také současné řešení použité u vozu ŠKODA Fabia S2000.

2.2.1 Peugeot 208



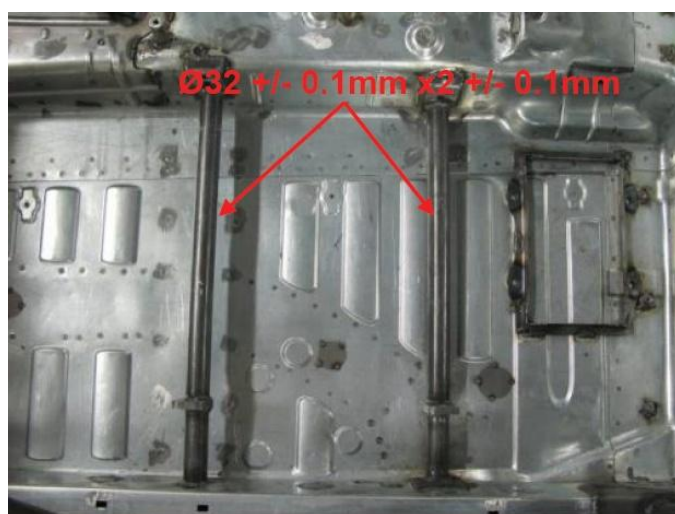
Obrázek 7: Peugeot 208 (6)

Peugeot u modelu 208 využívá k uchycení sedadel na místě pilota i spolujezdce stejný typ plochých držáků. Ty jsou vyrobené z duralového plechu o tloušťce 5 mm.



Obrázek 8: Držák sedadla vozu Peugeot 208 (7)

Sedadlo je možné výškově nastavit jeho upevněním dvěma šrouby pomocí jedné ze 4 sad děr v přední části držáku. K dispozici pak je 5 drážek pro nastavení záklonu sedadla pomocí zbylých dvou šroubů. Upevnění a horizontální nastavení sedadla s držáky ve vozidle zajišťuje 8 sad děr pro 4 šrouby, kterými je realizována montáž do kotvících bodů v karoserii. Ty jsou umístěny na dvou trubkách o průměru 32 mm a tloušťce stěny 2 mm, které jsou přivařeny do karoserie. Výhodou tohoto řešení je velká univerzálnost, ovšem za cenu vyšší hmotnosti.



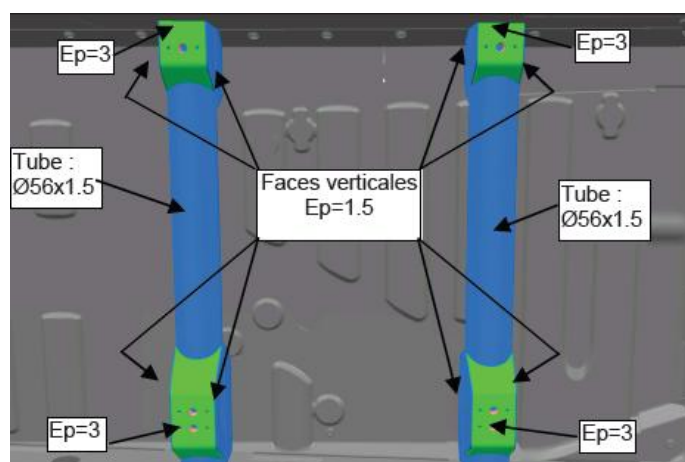
Obrázek 9: Kotvící body držáků sedadel vozu Peugeot 208 (7)

2.2.2 Citroën DS3 S2000



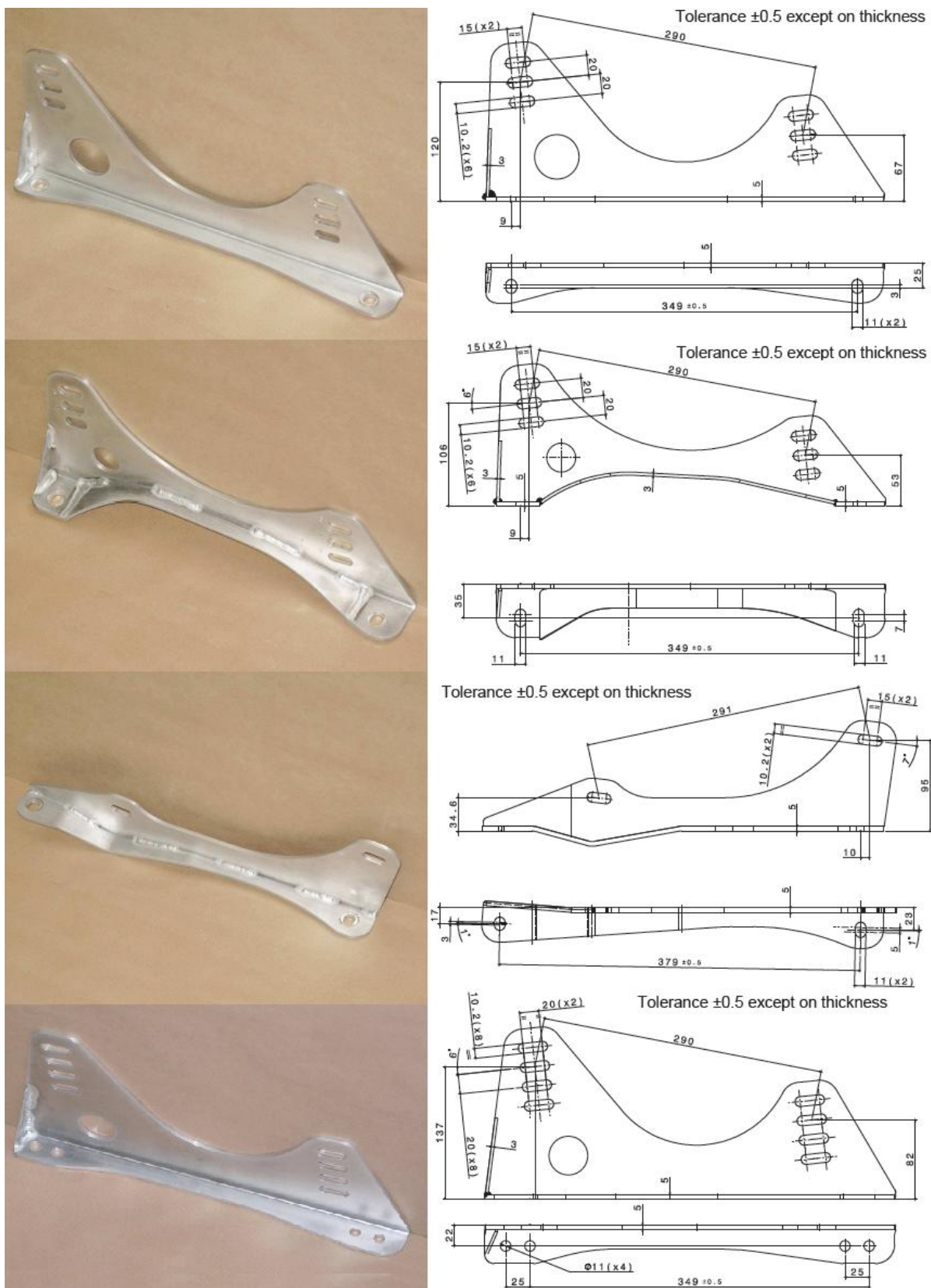
Obrázek 10: Citroën DS3 S2000 (8)

Citroën má pro svůj soutěžní vůz DS3 S2000 homologováno celkem 10 různých držáků sedadel. Ty jsou různé podle toho, zda jsou určeny pro sedadlo jezdce nebo spolujezdce. Některé jsou univerzálnější s větším počtem děr pro výškové nastavení, jiné mají jen jednu možnou konfiguraci. Všechny jsou konstrukčně řešeny do tvaru „L“, kdy na svislé ploše jsou umístěny díry pro připevnění sedadla a na vodorovné ploše pak díry pro uchycení šrouby do kotvicích bodů. Horizontální nastavení sedadla je možné pouze v omezené míře pomocí jeho posouvání v drážkách držáků pro šrouby sedadel. Pokud je potřeba jiná poloha sedadla, je nutné použít jiný držák. Univerzální držáky mají dvě sady děr pro uchycení do kotvicích bodů karoserie. Horizontální nastavení sedadla je u těchto držáků pak možné i zvolením jedné z těchto sad děr. Tento přístup, kdy je homologováno větší množství držáků, je výhodný z hlediska možnosti optimalizace jejich hmotnosti a tuhosti, ovšem za cenu ztráty širokého rozsahu nastavení. Vyrobeny jsou ohýbáním z duralového plechu o tloušťce 5 mm a jsou vyztuženy přivařenými elementy ze stejného materiálu o tloušťce 3 mm.



Obrázek 11: Kotvicí body držáků sedadel vozu Citroën DS3 S2000 (9)

Držáky se upevňují do karoserie pomocí kotvicích bodů, které tvoří dvě trubky o průměru 56 mm a tloušťce stěny 1,5 mm. Na nich jsou přivařeny výztuhy se závity pro šrouby.



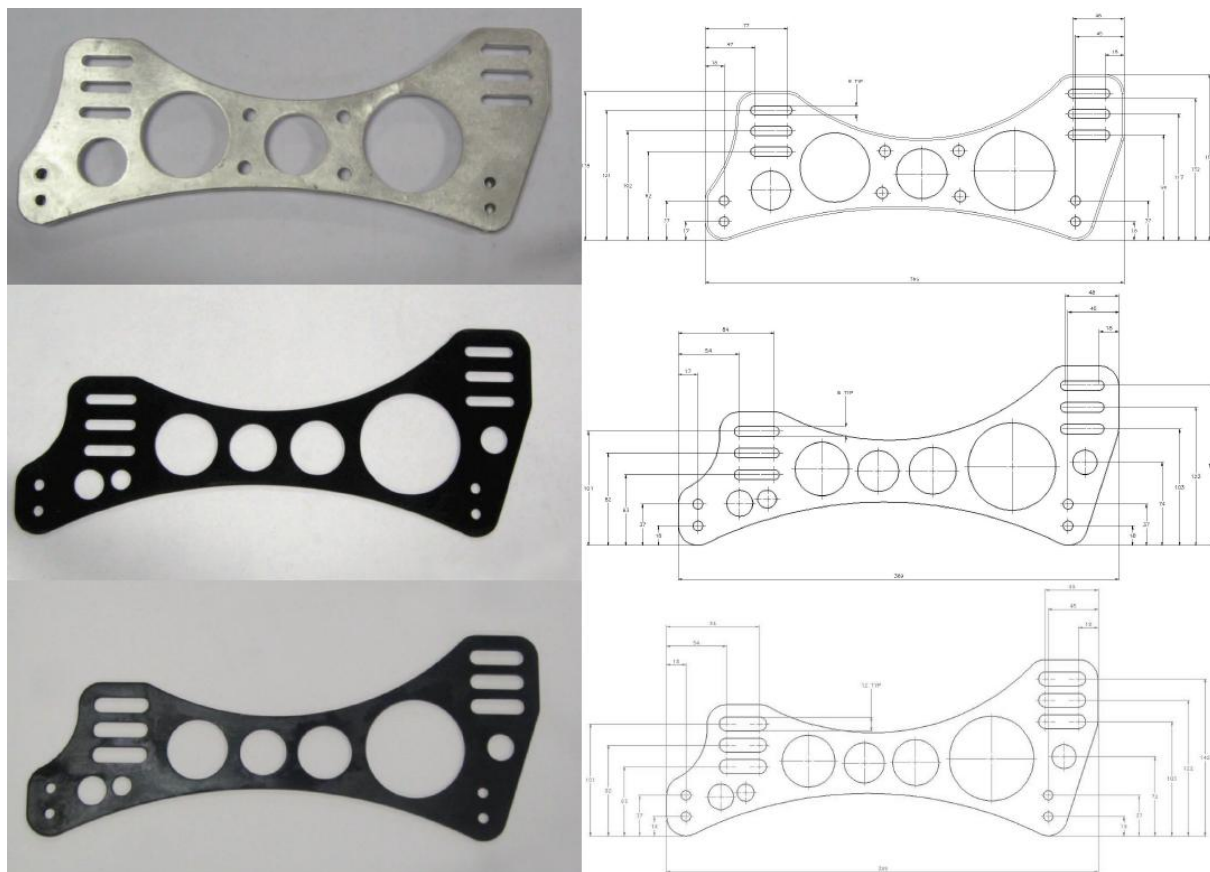
Obrázek 12: Některé držáky sedadla vozu Citroën DS3 S2000 (9)

2.2.3 Ford Fiesta S2000



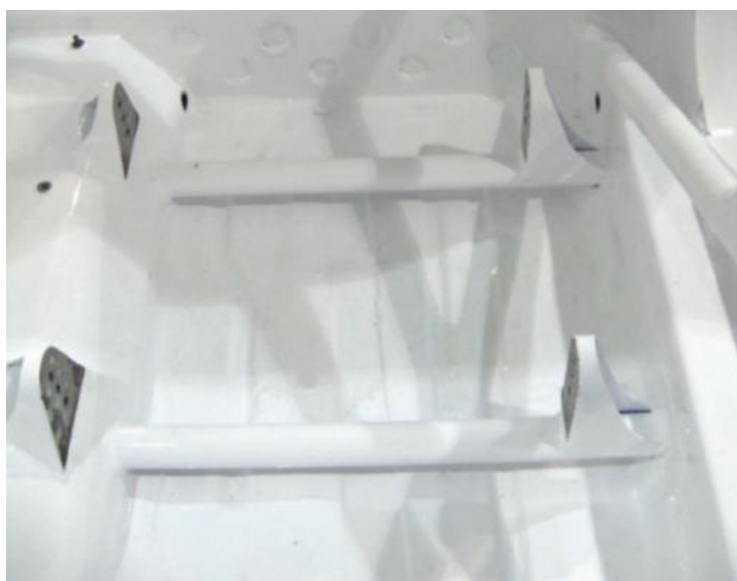
Obrázek 13: Ford Fiesta S2000 (10)

Vůz Ford Fiesta S2000 má v dokumentaci o homologaci uvedené celkem tři typy plochých držáků sedadel. Výškové nastavení sedadla je možné zvolením jedné ze dvou sad děr, kterými se držáky pomocí šroubů upevní do jedné ze tří sad závitových děr v kotvících bodech na karoserii. Další nastavení výšky sedadla a jeho záklonu je pak možné jeho připevněním čtyřmi šrouby do výškově diferencovaných drážek držáků. Posouváním sedadla v těchto drážkách se realizuje horizontální nastavení. První držák (viz obrázek 14) je o 5 mm vyšší než zbylé dva a je vyroben z duralového plechu o tloušťce 6 mm. Druhý a třetí držák je vyroben z ocelového plechu o tloušťce 3,25 mm a liší se pouze šířkou drážek pro šrouby pro připevnění sedačky – 8 mm a 12 mm. Toto řešení je zamýšlené jako univerzální. K tomu mu ale chybí větší množství děr pro umožnění lepšího rozsahu nastavení sedadla. Také možný horizontální posuv sedadla v podélné ose vozidla je nedostatečný. Možností řešení pro dosažení většího rozsahu nastavení by byla homologace dalších typů držáků. Ty by mohly být univerzální s větším počtem děr a drážek nebo naopak optimalizované pouze pro určité omezené nastavení sedadla.



Obrázek 14: Držáky sedadla vozu Ford Fiesta S2000 (11)

Kotvící body pro uchycení držáků do karoserie jsou u vozu Ford Fiesta S2000 na straně blíže ke středu vozu přivařené na středovém tunelu. Na opačné straně jsou pak připevněné na trubkách o průměru 38,1 mm a tloušťce stěny 1,2 mm. Ty jsou přivařené ke středovému tunelu a boční stěně.



Obrázek 15: Kotvící body držáků sedadel vozu Ford Fiesta S2000 (11)

2.2.4 ŠKODA Fabia S2000



Obrázek 16: ŠKODA Fabia S2000 (12)

ŠKODA Fabia S2000 je soutěžní vůz kategorie Super 2000 vyvinutý oddělením ŠKODA Motorsport firmy ŠKODA Auto a.s. Poprvé se představil v roce 2008 jako vůz předjezdů na Barum Rally Zlín. Soutěžní debut pak absolvoval na Rallye Monte Carlo v roce 2009 s posádkami Jan Kopecký – Petr Starý a Juho Hänninen – Mikko Markkula. V roce 2010 byla představena nová verze tohoto vozu, která se od původní liší zejména designem přední části a větším rozchodem náprav. ŠKODA Fabia S2000 má na svém kontě mnoho úspěchů a vítězství jak v mistrovstvích jezdců, tak v pohárech konstruktérů, což ji řadí mezi nejúspěšnější soutěžní vozy firmy ŠKODA Auto a.s. vůbec. Dnes v továrním týmu ŠKODA Motorsport působí posádky Jan Kopecký – Pavel Dresler a Esapekka Lappi – Janne Ferm. Kromě toho soutěží s vozem ŠKODA Fabia S2000 mnoho soukromých týmů v národních i mezinárodních mistrovstvích, včetně WRC-2 a ERC.

Jako pohonná jednotka tohoto vozu slouží šestnáctiventilový atmosférický čtyřválec o objemu 1996 cm³. Maximální výkon 203 kW podává při 8250 ot/min a maximální krouticí moment 250 Nm při 7250 ot/min. Motor je spřažen se šestirychlostní sekvenční převodovkou, která pohání přes dva mechanické diferenciály všechna čtyři kola. Zavěšení kol je typu McPherson na obou nápravách. Pneumatiky Michelin se obouvají na 15" disky pro šotolinové tratě a 18" disky na tratě asfaltové. V obou případech se jedná o disky z lehkých slitin. Minimální hmotnost celého vozu je 1200 kg. (12)

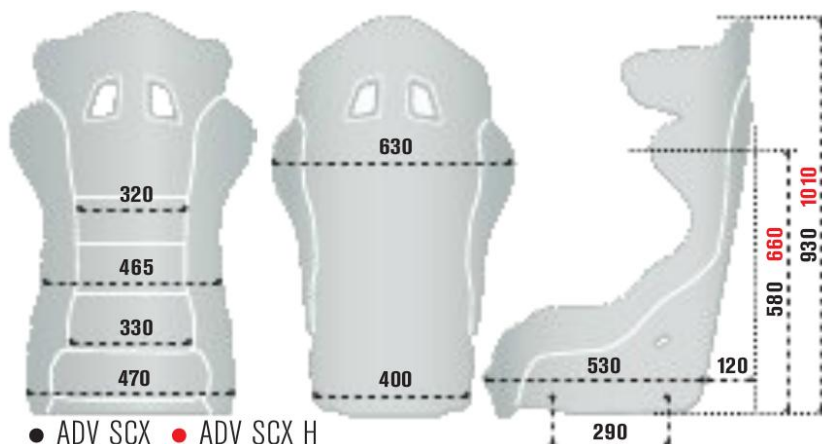
2.2.4.1 Sedadla ve ŠKODA Fabia S2000

V soutěžním voze ŠKODA Fabia S2000 se používají celkem 4 typy sedadel dvou výrobců. Všechny svou homologací odpovídají novému FIA standardu 8862-2009 (3). Jedná se o profesionální závodní skořepinová sedadla vyrobená lepením textilií z uhlíkových vláken.

Výrobcem prvních dvou z nich je italská firma SPARCO. Nesou označení ADV-SCX a ADV-SCX H a liší se některými svými rozměry (viz obrázek 18 níže). Zatímco ADV-SCX je standardní velikost, ADV-SCX H je určeno pro jezdce s vyšší postavou. Hmotnosti sedadel jsou 7,9 kg, respektive 9,3 kg, katalogové ceny pak 4850 € / 4950 € bez DPH. Obě sedadla mají stejné rozměry základny. Šířka sedadla v místě předních závitových vložek pro jeho upevnění do držáků je asi 418,5 mm a v místě zadních závitových vložek 407,5 mm. (13)



Obrázek 17: Sedadlo SPARCO ADV-SCX (13)

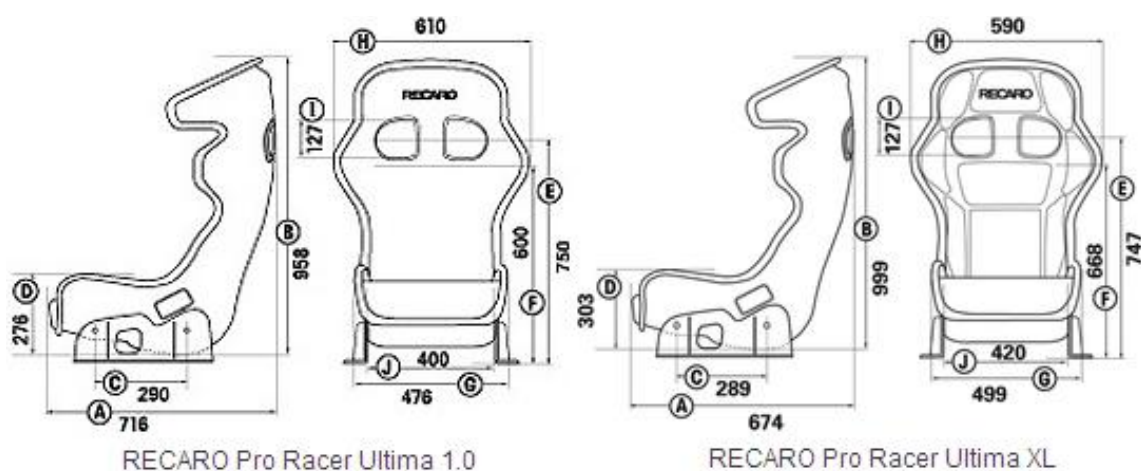


Obrázek 18: Základní rozměry sedadel SPARCO ADV-SCX a ADV-SCX H (13)

Druhým výrobcem sedadel pro vůz ŠKODA Fabia S2000 je německá firma Recaro Automotive GmbH & Co. KG. Dodává sedadla s názvy Pro Racer Ultima 1.0 a Pro Racer Ultima XL. Druhé jmenované je oproti prvnímu o 20 mm rozšířené v oblasti sedáku a svými rozměry je určeno mohutnějším jezdcům. Obě sedadla lze optimalizovat pro konkrétní osobu jednou ze tří sad výměnného polstrování. Jejich hmotnost se pohybuje mezi 9,7 kg a 13,1 kg a cena okolo 5250 € bez DPH. Šířka sedadla v místě předních i zadních závitových vložek pro jeho upevnění do držáků je 400 mm. (14)



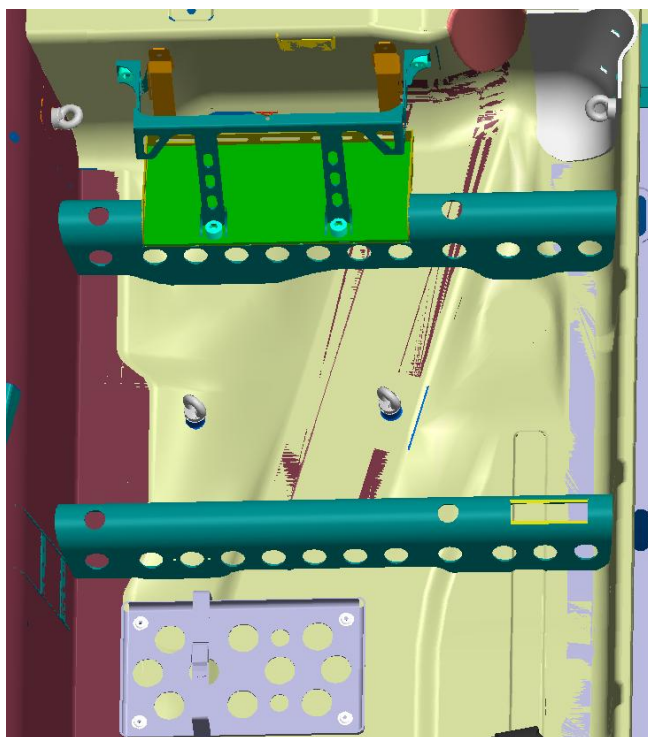
Obrázek 19: Sedadlo Recaro Pro Racer Ultima 1.0 (14)



Obrázek 20: Základní rozměry sedadel Recaro Pro Racer Ultima 1.0 a Pro Racer Ultima XL (14)

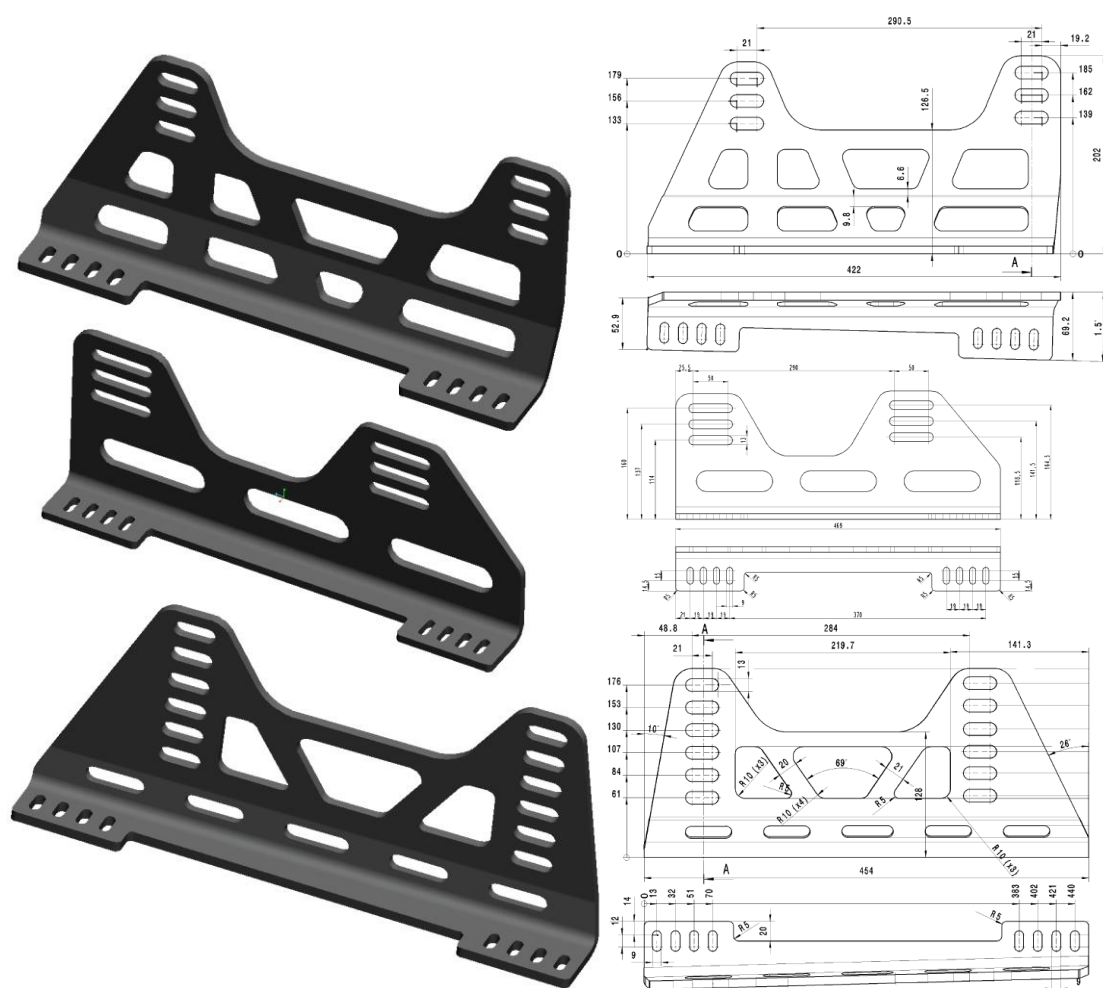
2.2.4.2 Držáky sedadel ŠKODA Fabia S2000

ŠKODA Motorsport má pro svůj soutěžní vůz Fabia S2000 zkonstruováno celkem 18 různých typů držáků sedadel. Tento velký počet vyplývá z toho, že oba výrobci sedadel, používaných v tomto voze, použili různé šířky základen v místech závitových vložek. Základny sedadel SPARCO ADV-SCX a ADV-SCX H navíc tvoří rovnoramenný lichoběžník. Držáky tedy nelze mezi sedadly od firmy SPARCO a Recaro zaměňovat a pro každý typ musí být použity různé. Dále jsou některé z držáků určeny pro místo pilota, jiné pro spolujezdce a některé jsou univerzální. Materiálem pro výrobu byl duralový plech o tloušťce minimálně 8 mm, ohýbaný do požadovaného tvaru písmene „L“. Na svislé ploše jsou umístěny díry pro připevnění sedadla a na vodorovné ploše pak díry pro uchycení šrouby do kotvících bodů. Horizontální nastavení sedadla je možné přišroubováním držáku do kotvících bodů za použití jedné z několika sad děr. V omezené míře je pak nastavení možné pomocí posouvání sedadla v drážkách držáků. Výškové nastavení sedadla a jeho sklon je možné nastavit zvolením jedné z k tomu určených sad děr na svislých plochách držáků.



Obrázek 21: Kotvící body držáků sedadel vozu ŠKODA Fabia S2000

Držáky sedadel se připevňují do kotvících bodů. Každý bod tvoří jeden profil z ocelového plechu o tloušťce 3 mm ve tvaru písmene „U“, ve kterém jsou vytvořeny tři závitové díry M8, navzájem od sebe vzdálené 25 mm. Tyto prvky jsou přivařeny na příčnicích v karoserii, které jsou vyrobené z ocelového plechu o tloušťce 1,5 mm. Tři sady závitových děr v kotvících bodech jsou určeny pro zvýšení rozsahu horizontálního nastavení sedadla. Jejich vhodným kombinováním s dírami ve vodorovných plochách držáků lze docílit dobré přesnosti nastavení, kterou lze ještě zlepšit posouváním sedadla ve vodorovných drážkách na svislých plochách držáků.



Obrázek 22: Některé držáky sedadla vozu ŠKODA Fabia S2000

3. Analýza stávajících držáků sedadel vozu ŠKODA Fabia S2000

V této kapitole diplomové práce je pomocí metody konečných prvků provedena analýza stávajícího řešení držáků sedadel ve voze ŠKODA Fabia S2000. Analýze jsou podrobeny sestavy skládající se z modelů kotvicích bodů, odpovídajících držáků a sedadla v konfiguraci pro každého člena ze tří posádek ŠKODA Motorsport zvlášť.

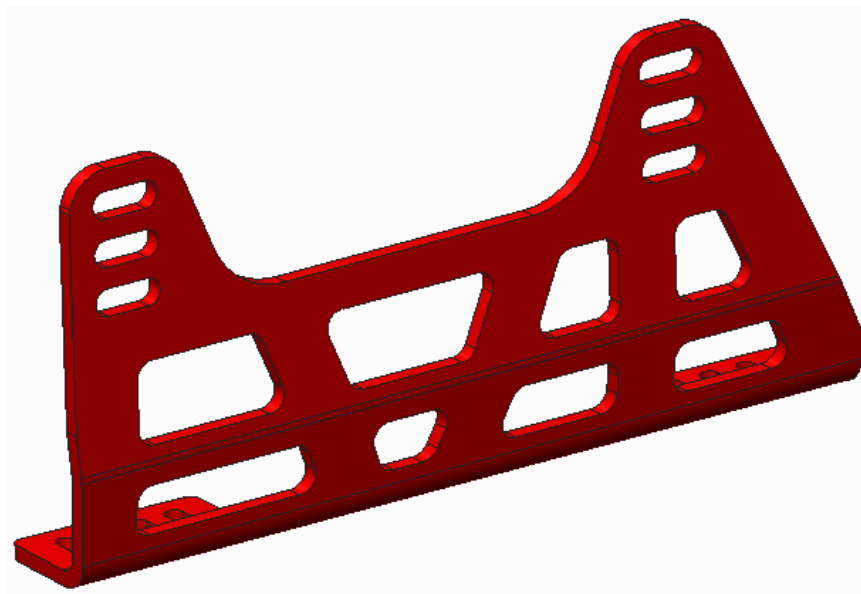
3.1 Použitý software a metodika analýzy

Pro analýzu pomocí metody konečných prvků byl použit CAD software Creo 2.0 od firmy PTC. Creo je evolucí úspěšného programu Pro/ENGINEER od stejné firmy. Parametrické 3D modely součástí, které nebyly k dispozici, byly vytvořeny v modulu Creo Parametric, kde z nich poté byly sestaveny jednotlivé sestavy podle nastavení každého člena posádky.

3.1.1 Modely součástí

3.1.1.1 Modely držáků sedadel

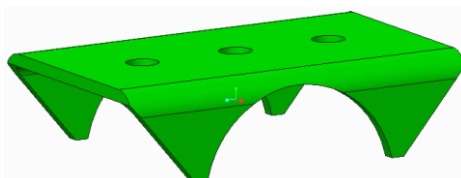
Modely držáků odpovídají výkresové dokumentaci, která byla k dispozici v aktuální verzi v informačním systému ŠKODA Motorsport. Jsou celkem 3. Všichni tři piloti totiž používají stejný držák sedadla, stejně jako dva spolujezdci. Číslo dílů držáků dle značení používaného v koncernu Volkswagen jsou 5JT 881 033 K, 5JT 881 034 F a 5JT 881 126 B.



Obrázek 23: Model držáku sedadla 5JT 881 033 K

3.1.1.2 Model kotvících bodů

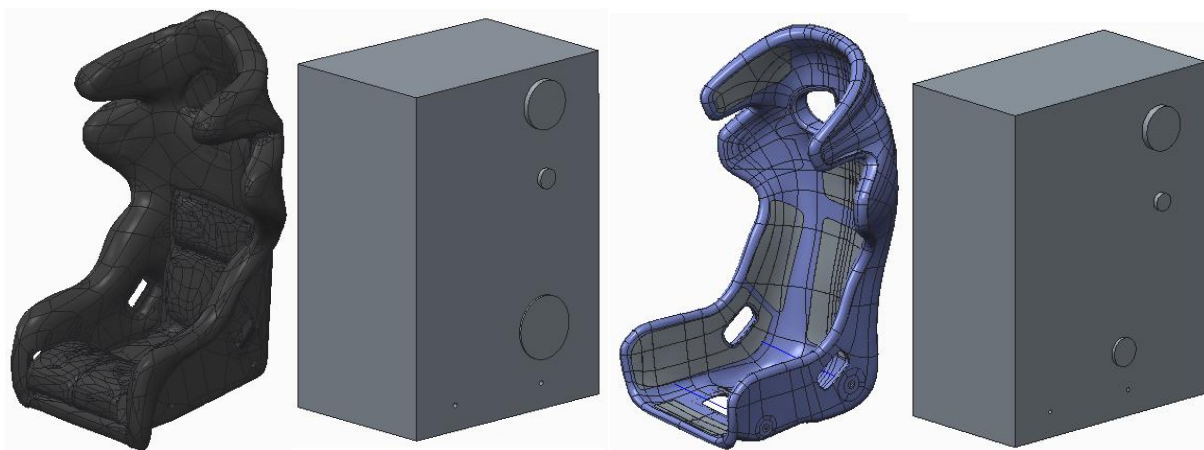
Pro tvorbu modelů kotvících bodů byla vybrána pouze ta jejich část, která je v bezprostředním kontaktu s držáky sedadla. Byl tedy vytvořen model profilu z ocelového plechu o tloušťce 3 mm ve tvaru písmene „U“ se třemi dírami o průměru 8 mm, navzájem od sebe vzdálenými 25 mm.



Obrázek 24: Model kotvícího bodu držáku sedadla

3.1.1.3 Modely sedadel

Oddělením ŠKODA Motorsport byly poskytnuty věrné trojrozměrné modely sedadel SPARCO ADV-SCX a Recaro Pro Racer Ultima 1.0. Ty byly použity jednak pro vizualizaci nastavení sedadel a držáků pro jednotlivé členy posádky a také pro tvorbu zjednodušených modelů, určených pro vytvoření sestav pro analýzu. Přesné modely jsou totiž pro potřeby analýzy příliš podrobné, a jelikož předmětem zájmu jsou především držáky, bylo přistoupeno k jejich simplifikaci. Reprezentace sedadel jsou zobrazeny na obrázcích níže.



Obrázek 25: Přesné a zjednodušené modely sedadel

Zjednodušené modely jsou tvořeny šestistěnnem. Tvar jeho základny je určen rozměry sedadla v místech vložek pro montáž šroubů. Základna modelu sedadla SPARCO má tedy tvar rovnoramenného lichoběžníku, základna sedadla Recaro tvar obdélníku. Hloubka a výška jsou určeny skutečnými rozměry. Na bočních plochách v místech závitových vložek jsou čtyři

díry o průměru 12 mm. Dále jsou z každé strany tři plochy kruhového tvaru. Jejich poloha a velikost vychází z metodiky standardu FIA 8862-2009 pro homologaci závodních sedadel, konkrétně z části o simulaci bočního nárazu (viz kapitola 2.1.1.2). Na přesných modelech sedadel byly nejprve pomocí nástrojů CAD odměřeny rozměry dané metodikou (viz obrázek 2), které byly následně přeneseny na zjednodušený model. V takto zjištěných místech byly vytvořeny kruhové plochy, na které jsou při analýze aplikovány zatěžovací síly. Plocha v místě hlavy má průměr 124 mm, plocha v místě ramen 50 mm a plocha v oblasti pánve 160 mm (pozn.: v některých případech bylo tento rozměr nutné zmenšit na 80 mm z důvodu kolize s držákem). Zmenšení průměrů u prvních dvou rozměrů oproti standardu FIA na polovinu je z důvodu aplikace síly pomocí hlavice ve tvaru polokoule. Styčná plocha tedy bude menší, než průměr hlavice. Její průměr jsem určil na polovinu průměru polokoule.

3.1.2 Parametry analýzy

Ze součástí uvedených výše byly podle nastavení každého členu posádky vytvořeny sestavy, které byly následně převedeny do modulu Creo Simulate.

3.1.2.1 Materiálové vlastnosti modelů

Zde bylo nejprve nutné zadat materiálové vlastnosti jednotlivých součástí. Modelu kotvících bodů byl přiřazen předdefinovaný materiál „Steel“, tedy ocel.

Materiálová vlastnost	Hodnota [Jednotka]
Hustota	7827 kgm ⁻³
Poissonova konstanta	0,27
Youngův modul pružnosti E	200000 MPa

Tabulka 3: Materiálové vlastnosti modelů kotvících bodů

Pro potřeby pevnostní analýzy byly zjednodušené modely sedadel uvažovány jako takřka ideálně tuhá tělesa bez hmotnosti. Aby se zabránilo jejich deformacím, byly jim přiřazeny následující materiálové vlastnosti, viz tabulka 4 níže.

Materiálová vlastnost	Hodnota [Jednotka]
Hustota	0,001 kgm ⁻³
Poissonova konstanta	0,3
Youngův modul pružnosti E	10 ¹² MPa

Tabulka 4: Materiálové vlastnosti modelů sedadel

Podle výkresové dokumentace je k výrobě držáků sedadel možné použít materiál EN AW 2017 nebo materiál EN AW 7019. V obou případech jde o slitiny hliníku s jinými kovy.

EN AW 2017 je konstrukční materiál se střední pevností, dobře třískově obrobitelný, málo chemicky odolný, citlivý k mezikrystalické korozi, náchylný k tvorbě trhlin při svařování. Tvářitelnost je dobrá za tepla, vyhovující po žíhání a kalení, snižena ve vytvrzeném stavu. Vytvrzením za studena se významně zvýší pevnost slitiny. Vhodný materiál pro součástky a konstrukční prvky letadel, kolejových vozidel, automobilů a jiných dopravních prostředků, zejména konstrukcí nýtovaných a šroubovaných. (15) Jeho chemické složení je AlCu_4MgSi a materiálové vlastnosti jsou shrnuty v tabulce níže (pozn.: 1=velmi dobré, 6=nevhodné).

Materiálová vlastnost	Hodnota [Jednotka]
Hustota	2800 kgm ⁻³
Poissonova konstanta	0,33
Youngův modul pružnosti E	72000
Mez kluzu $R_{p0,2}$	240 - 245 MPa
Pevnost v tahu R_m	360 - 390 MPa
Tažnost A_{50}	6 - 15 %
Tvrdost HBW	105 - 110
Elektrická vodivost	23 - 28 mΩ ⁻¹ mm ⁻²
Koeficient tepelné roztažnosti	23,6 Wm ⁻¹ K ⁻¹
Tepelná vodivost	130 - 170 Wm ⁻¹ K ⁻¹
Specifická tepelná kapacita	875 Jkg ⁻¹ K ⁻¹
Tvarová stálost / vnitřní pnutí	4 - 5
Obrobitelnost	1
Vhodnost k erozivnímu obrábění	1
Svařitelnost (plyn / WIG / MIG / Odpor/ EB)	6 / 6 / 6 / 1 / 1
Odolnost proti korozi (moře / povětrí / SpRK)	5 / 4 / 5
Použití při teplotách (dlouho- / krátkodobě)	140 / 180 °C
Eloxování (technické / dekorativní / tvrdé)	2 / 6 / 2
Leštitelnost	1
Vhodnost k leptání struktur	1 - 2
Kontakt s potravinami (dle EN 602)	ne

Tabulka 5: Materiálové vlastnosti materiálu EN AW 2017 (15)

Druhým materiálem, který je možné použít k výrobě držáků sedadel, je EN AW 7019. Jeho chemické složení je $\text{AlZn}_4\text{Mg}_2\text{Mn}$ a materiálové vlastnosti jsou shrnuty v tabulce níže (pozn.: 1=velmi dobré, 6=nevhodné).

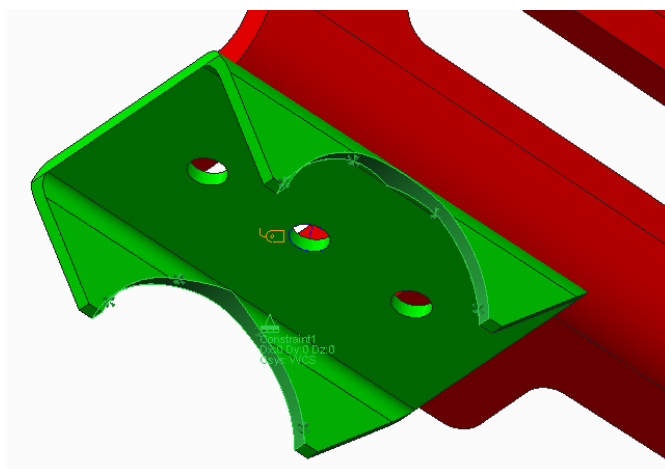
Materiálová vlastnost	Hodnota [Jednotka]
Hustota	2750 kgm^{-3}
Poissonova konstanta	0,33
Youngův modul pružnosti E	71000
Mez kluzu $R_{p0,2}$	330 - 370 MPa
Pevnost v tahu R_m	390 - 420 MPa
Tažnost A_{50}	8 - 13 %
Tvrдость HBW	125 - 130
Elektrická vodivost	19 - 23 $\text{m}\Omega^{-1}\text{mm}^{-2}$
Koeficient tepelné roztažnosti	23,6 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
Tepelná vodivost	135 - 150 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
Specifická tepelná kapacita	875 $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
Tvarová stálost / vnitřní pnutí	2 - 3
Obrobitelnost	1
Vhodnost k erozivnímu obrábění	1
Svařitelnost (plyn / WIG / MIG / Odpor/ EB)	4 / 1 / 1 / 1 / 3
Odolnost proti korozi (moře / povětří / SpRK)	3 / 2 / 4
Použití při teplotách (dlouho- / krátkodobě)	90 / 120 °C
Eloxování (technické / dekorativní / tvrdé)	2 / 6 / 1
Leštitelnost	1 -2
Vhodnost k leptání struktur	1
Kontakt s potravinami (dle EN 602)	ne

Tabulka 6: Materiálové vlastnosti materiálu EN AW 7019 (16)

Pro potřeby analýzy byla jako materiál modelů držáků sedadel zvolena slitina EN AW 2017. Ta má oproti EN AW 7019 nižší hodnoty mechanických a fyzikálních vlastností, zejména modul pružnosti a meze kluzu a pevnosti v tahu. Lze tedy předpokládat horší odolnost proti působení zátěžných sil, které se projeví relativně většími posuvy uzlů modelu.

3.1.2.2 Geometrické okrajové podmínky modelu

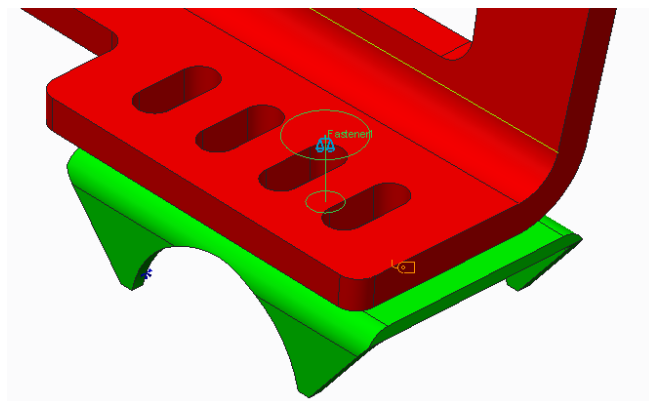
Modelu sestavy, skládajícího se ze zjednodušeného modelu sedadla, držáků a kotvících bodů, jsou zadány takové geometrické okrajové podmínky, aby takto vzniklý způsob uložení byl v co největší míře shodný s reálnou situací. Ve skutečnosti jsou části kotvících bodů, které byly zvoleny pro potřeby analýzy, přivařené na příčnice v karoserii. Aby bylo toto spojení napodobeno, jsou na plochách kotvících bodů, kde je svar realizován, zadány okrajové podmínky zamezující posuvu příslušných uzlů ve směrech všech tří souřadných os (viz obrázek 26 níže).



Obrázek 26: Geometrické okrajové podmínky modelu sestavy

3.1.2.3 Spojení modelů součástí v sestavě

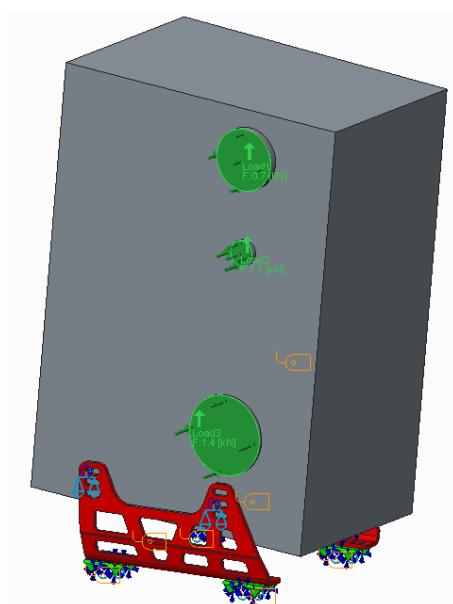
Při instalaci v soutěžním voze jsou držáky sedadel upevněny do kotvících bodů v karoserii čtyřmi šrouby M8 s šestihrannou hlavou, jakostní třídy 8.8. Sedadlo je pak upevněno do držáků pomocí čtyřech šroubů M12 s šestihrannou hlavou, stejné jakostní třídy. Software Creo Simulate nabízí v záložce „Refine Model“ funkci „Fastener“. Tato funkce umožňuje simulaci spojení dvou dílů sestavy pomocí šroubového spoje. Této možnosti bylo využito k napodobení reálné situace a skutečné šrouby byly nahrazeny funkcemi „Fastener“. Všechny šrouby byly voleny jako „Screw“, tedy montované do závitové díry, bez matice. Velikost styčné plochy s hlavou šroubu byla volena podle průměrů hlav skutečných šroubů, stejně jako jejich délky. Šroub M8 má průměr hlavy 18 mm, šroub M12 pak průměr 25 mm.



Obrázek 27: Simulace spojení modelů součástí

3.1.2.4 Silové okrajové podmínky modelu

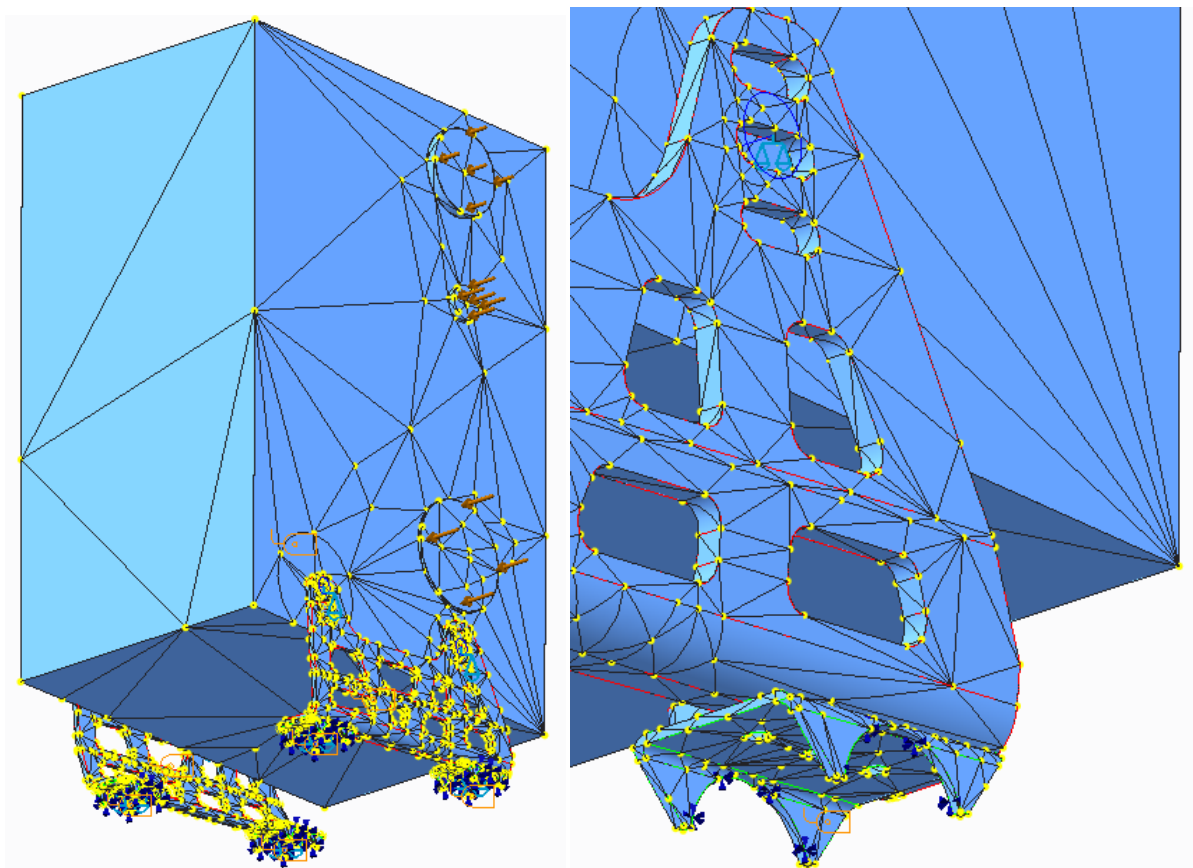
Výpočtový model je zatížen způsobem vycházejícím z metodiky standardu FIA 8862-2009 pro homologaci závodních sedadel, konkrétně z části o simulaci bočního nárazu (viz kapitola 2.1.1.2). Protože velikosti sil dle standardu jsou velmi velké a v modelu vytvářejí obrovská napětí, někde přecházející až v singularity, rozhodl jsem se je zmenšit. Při reálné zkoušce pevnosti sedadla má jejich extrémní velikost význam v prověření pasivní bezpečnosti, avšak v sedadlech a držácích přitom vznikají plastické deformace, někdy i porušení materiálu. Pro potřeby pevnostní analýzy a vzájemného porovnání výsledků byla zvolena velikost sil jako 1/10 hodnoty uváděné ve standardu FIA 8862-2009. V oblasti hlavy je to tedy 700 N, v oblasti ramen 1100 N a v oblasti pánve 1400 N. Každá z těchto sil je aplikována na předem připravenou plochu na boku zjednodušeného modelu sedadla.



Obrázek 28: Silové okrajové podmínky modelu sestavy

3.1.2.5 Síť konečných prvků

Na trojrozměrném modelu součásti byla následně vytvořena síť konečných prvků. K její tvorbě byla využita funkce „AutoGEM“, kterou software Creo Simulate nabízí. Jedná se o automatický generátor sítě prvků, v jehož menu nastavení byly zadány všechny požadované parametry. Typy „solid“ prvků, které může funkce použít pro tvorbu, byly vybrány „Brick“, „Wedge“ a „Tetrahedra“. Tento výběr by měl zajistit co nejlepší přesnost sítě s co nejmenším počtem prvků. Na obrázcích níže je zobrazena síť konečných prvků celé soustavy a detailní pohledy na síť držáků sedadel a kotvicích bodů. Je patrné, že zjednodušený model sedadla se díky svému tvaru skládá z relativně malého počtu prvků. To přispívá k rychlejšímu výpočtu analýzy. Protože ale sedadlo není předmětem zájmu, nemá tento fakt vliv na přesnost. Počet a typ prvků sítě je uveden u každého modelu (viz kapitoly 3.2 a 4.2). Parametr spojení součástí soustavy je nastaven na „Bonded“, neboli pevně. Z důvodu použití simulace šroubových spojení nejsou součásti spojeny pevně v celé své kontaktní ploše, ale pouze v okolí jednotlivých šroubů.



Obrázek 29: Síť konečných prvků na modelu sestavy a detailní pohled na kotvicí bod a část držáku sedadla

3.1.2.6 Parametry výpočtu a zobrazení výsledků analýzy

Po splnění všech předchozích kroků bylo možné přistoupit k samotné pevnostní analýze. Prvním krokem bylo vytvoření nové analýzy typu „Static analysis“. Pro kontrolu správného nastavení byl nejdříve každý model podroben analýze metodou „Single-pass Adaptive“. V případě, že bylo vše v pořádku a výpočet skončil bez chyb, bylo možné nastavit metodu „Multi-Pass Adaptive“, jejíž výpočet trvá několikanásobně delší dobu. Pro iteraci výsledku byla zvolena P-metoda, tedy zvyšování stupně polynomu při stejném počtu prvků sítě. Minimální stupeň polynomu byl nastaven na 1, maximální na 9.

V kapitolách 3.2 a 4.2 jsou pro každý případ zobrazeny výsledky právě z této metody analýzy. Nejprve je vždy pro ilustraci zobrazen model soustavy s přesným modelem sedadla. Dále je zobrazena soustava se zjednodušeným modelem sedadla, na kterou jsou aplikovány všechny okrajové podmínky a zátěžné síly. Pak následují obrázky s výsledky pevnostní analýzy. Ty se zaměřují již pouze na držáky sedadel. Ostatní součásti jsou zneviditelněny.

Nejprve jsou publikovány obrázky zobrazující rozložení napětí v součástech. Zobrazené napětí je metodou „von Mises“, jednotky v MPa. V záložce „Display Options“ je zvolena možnost „Continuous Tone“, tedy plynulé přechody mezi různými velikostmi napětí. Dále je zde potvrzena volba „Deformed“ s hodnotou 10%. Tato možnost pro názornost zdůrazní deformace způsobené zatížením soustavy.

Další obrázky pak znázorňují velikosti posuvů jednotlivých uzlů soustavy. Všechny možnosti v záložce „Display Options“ jsou pak zvoleny stejně jako u analýzy napětí.

3.2 Analýzy stávajících držáků sedadel v konkrétních nastaveních

Analýzy držáků sedadel soutěžního vozu ŠKODA Fabia S2000 byly provedeny pro členy tří konkrétních posádek týmu ŠKODA Motorsport. Jsou jimi dvě stávající oficiální posádky – pilot Jan Kopecký se spolujezdcem Pavlem Dreslerem a pilot Esapekka Lappi se spolujezdcem Janne Fermem – a jedna posádka, která působila v týmu do minulé sezony – pilot Juho Hänninen se spolujezdcem Mikko Markkulou.

Protože všichni tři piloti používají stejný držák sedadla, který mají dokonce nastaven do stejné vertikální i horizontální polohy, bylo možné podrobit analýze pouze jeden model, který je platný pro všechny.

Podobná situace nastala u spolujezdců Pavla Dreslera a Janne Ferma, kteří používají stejný držák sedadla, ovšem v mírně odlišném nastavení. Zde byl pevnostní analýze podroben model soustavy sedadla s držáky v nastavení podle Pavla Dreslera. Sedadlo je při něm uchyceno v zadních držácích o jednu drážku výše a existuje tedy předpoklad, že toto při zatěžování soustavy bočními silami vytvoří méně příznivé podmínky.

Dále jsou uvedeny výsledky analýzy kombinace sedadla a držáků v nastavení, které používá spolujezdec Mikko Markkula.

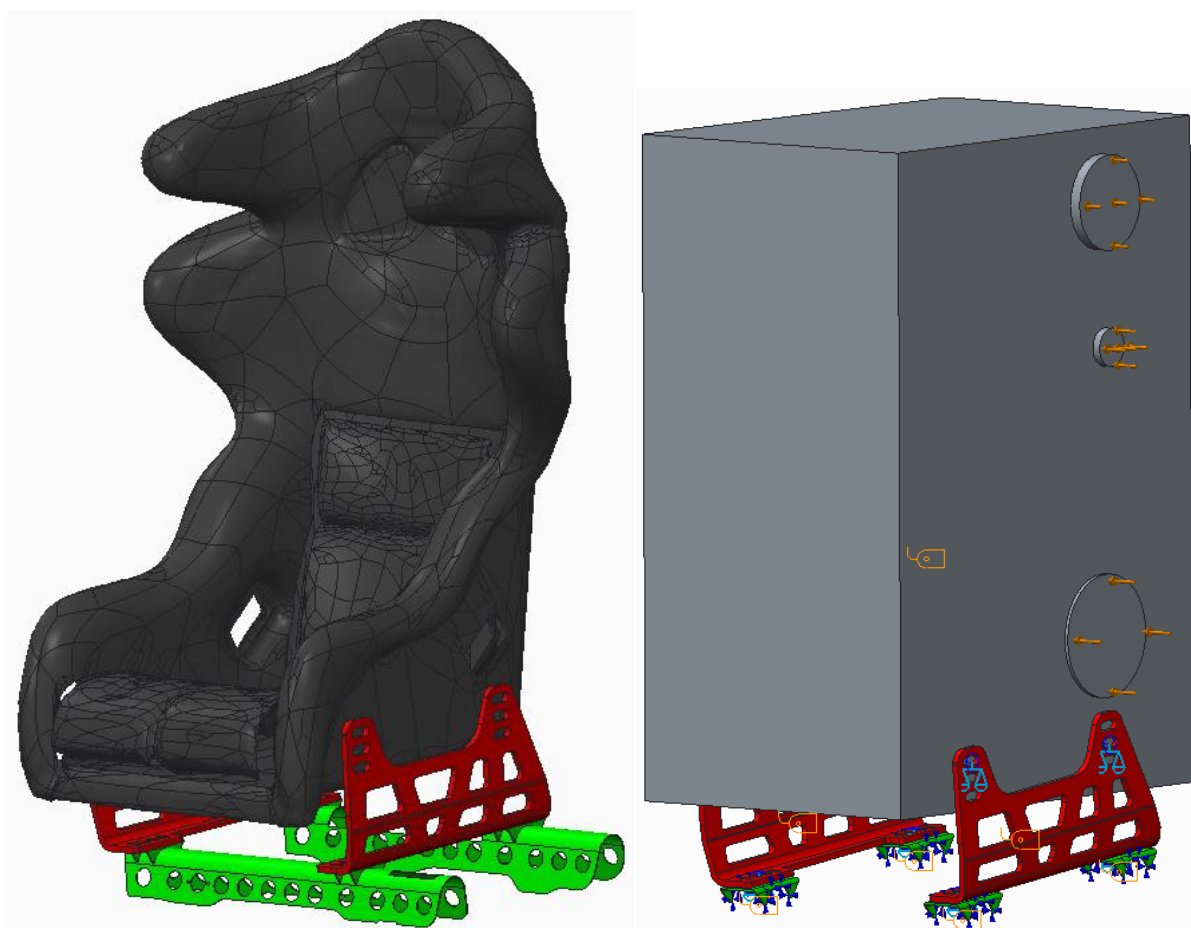
Nakonec jsou z pevnostních analýz stávajících držáků sedadel vyvozeny závěry s poukázáním na slabá místa jejich konstrukce. Tyto závěry dále sloužily k návrhu inovovaných držáků sedadel (viz kapitola 4).

3.2.1 Držáky sedadla pilotů Jana Kopeckého, Esapekka Lappiho a Juho Hänninena

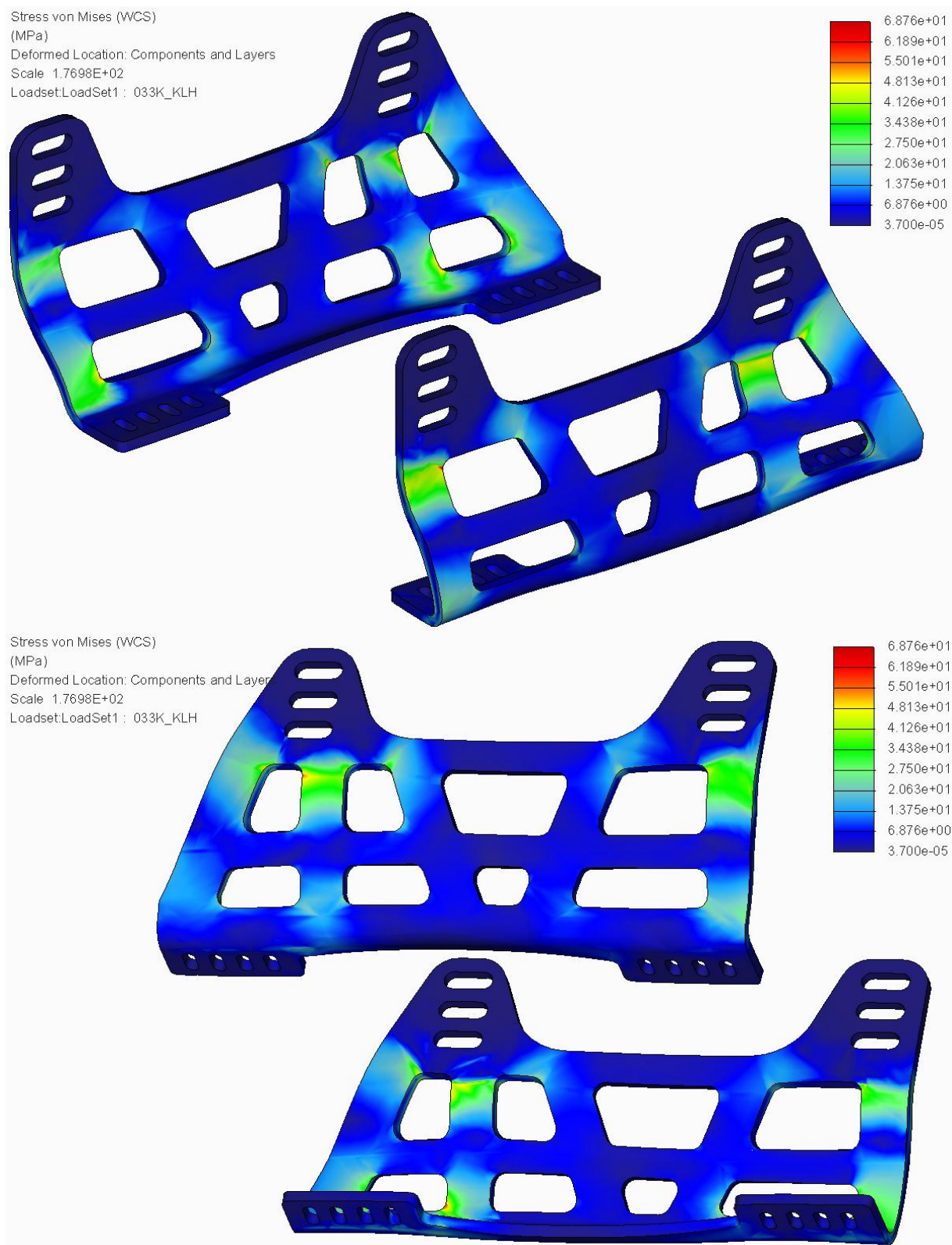
Všichni tři piloti využívají stejných sedadel SPARCO ADV-SCX a držáků sedadla. Jejich číslo dílu v informačních systémech koncernu Volkswagen je 5JT 881 033 K. Piloti používají i stejné nastavení držáků dle tabulky 7 níže. Pozicí je myšleno pořadí díry nebo drážky, kterou je veden šroub, nebo do které je montován. Pro horizontální nastavení jsou díry počítány směrem od přední nápravy k zadní, pro vertikální nastavení shora dolů.

Smysl a místo nastavení	Pozice (horizontálně zepředu, vertikálně shora)
Horizontálně v držáku	2/4
Horizontálně v kotvících bodech	2/3
Vertikálně vpředu	1/3
Vertikálně vzadu	2/3

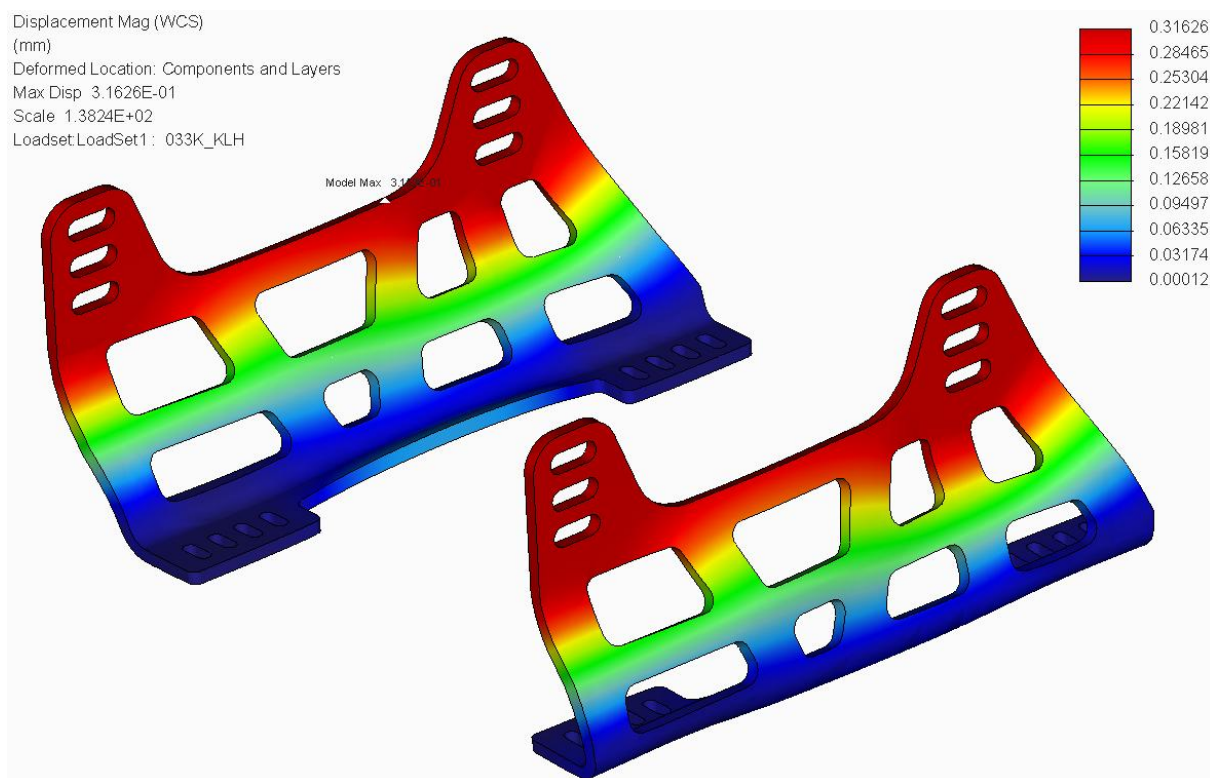
Tabulka 7: Nastavení držáků sedadla pilotů Jana Kopeckého, Esapekka Lappiho a Juho Hänninena



Obrázek 30: Přesný model soustavy sedadla SPARCO s držáky 5JT 881 033 K a její model pro analýzu



Obrázek 31: Analýza rozložení napětí v držácích 5JT 881 033 K



Obrázek 32: Analýza posuvu uzlů v držácích 5JT 881 033 K

Síť konečných prvků tohoto modelu se skládá z celkem 5214 prvků typu „Tetrahedra“. Průběh napětí v držácích sedadla 5JT 881 033 K je patrný z obrázků 30 a 31, posunutí uzlů pak z obrázku 32.

Největší hodnota posunutí je 0,316 mm v horní části pravého držáku.

Napětí dosahuje nejvyšších hodnot okolo 70 MPa. Ke koncentraci napětí dochází zejména na hranách odlehčovacích otvorů v bocích držáků.

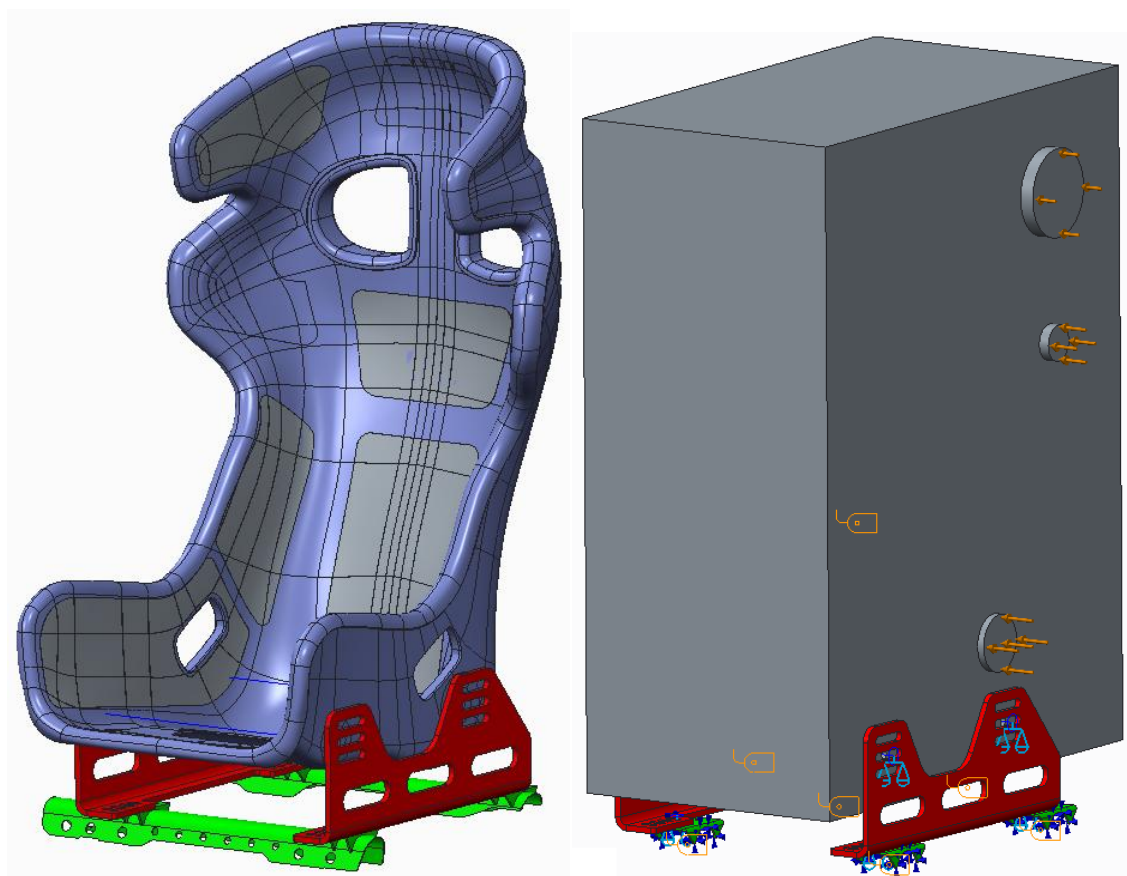
Hmotnost obou držáků vypočtená softwarem je 2446 g.

3.2.2 Držáky sedadla spolujezdců Pavla Dreslera a Janne Ferma

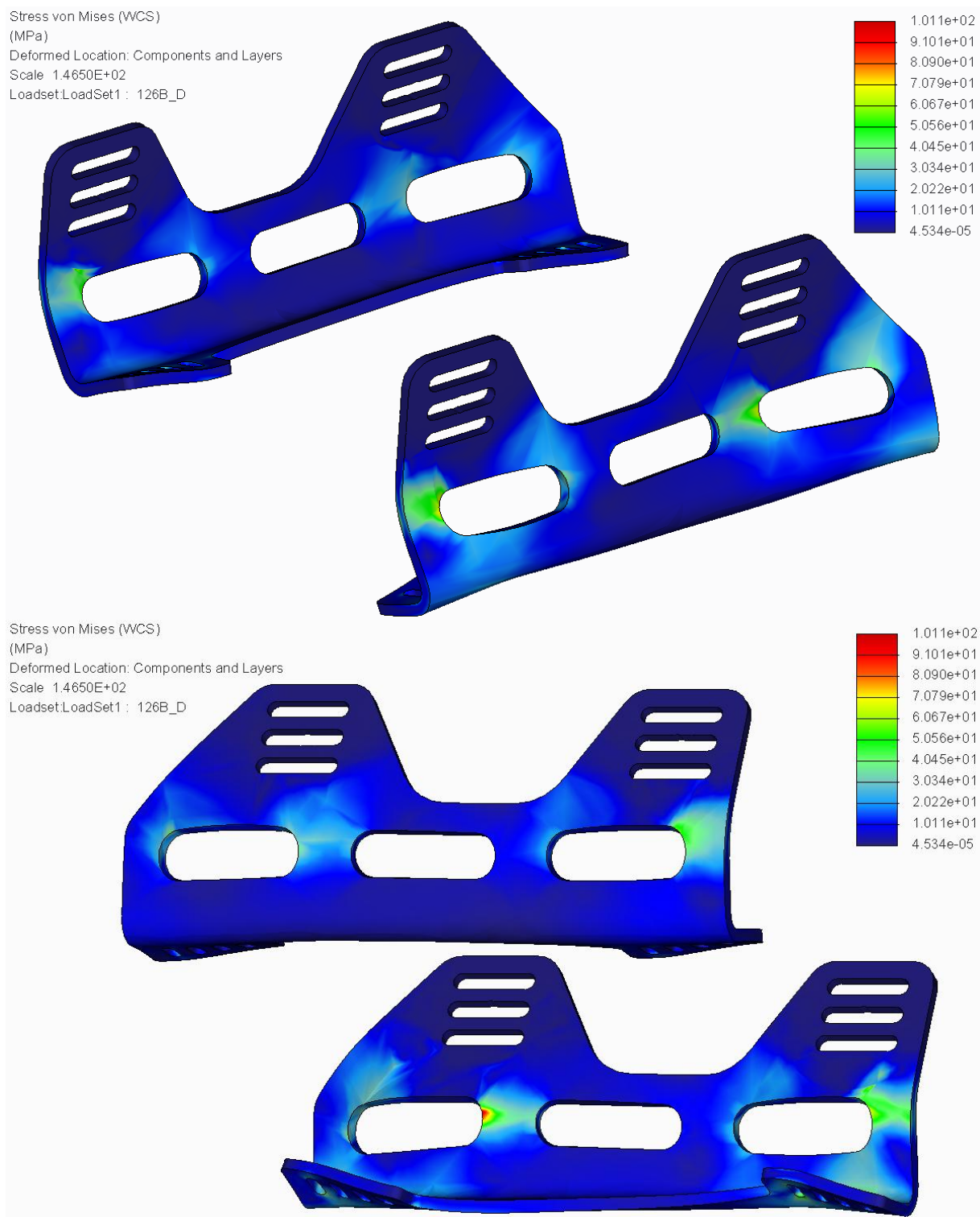
Spolujezdci Pavel Dresler a Janne Ferm používají sedadlo Recaro Pro Racer Ultima 1.0 s držáky, které mají v informačních systémech koncernu Volkswagen číslo dílu 5JT 881 126 B. Nastavení těchto držáků pro oba spolujezdce je patrné z tabulky 8 níže. Výsledky z analýzy pak platí pro nastavení sedadla dle Pavla Dreslera, které je z hlediska zatěžování bočními silami méně příznivé. Pozicí je myšleno pořadí díry nebo drážky, kterou je veden šroub, nebo do které je montován. Pro horizontální nastavení jsou díry počítány směrem od přední nápravy k zadní, pro vertikální nastavení shora dolů.

Smysl a místo nastavení	Pozice (horizontálně zepředu, vertikálně shora)
Horizontálně v držáku	4/4
Horizontálně v kotvících bodech	1/3
Vertikálně vpředu	2/3
Vertikálně vzadu	2/3
(1. Dresler, 2. Ferm)	3/3

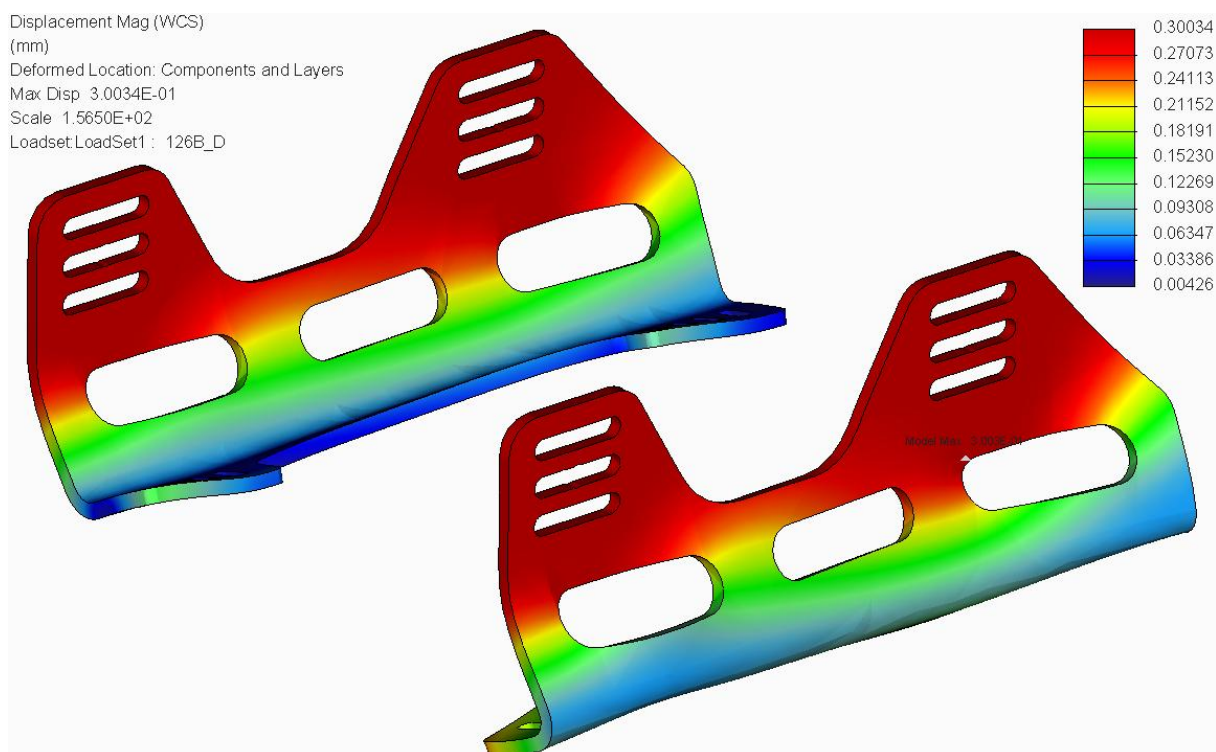
Tabulka 8: Nastavení držáků sedadla spolujezdců Pavla Dreslera a Janne Ferma



Obrázek 33: Přesný model soustavy sedadla Recaro s držáky 5JT 881 126 B a její model pro analýzu



Obrázek 34: Analýza rozložení napětí v držácích 5JT 881 126 B



Obrázek 35: Analýza posuvu uzlů v držácích 5JT 881 126 B

Síť konečných prvků tohoto modelu se skládá z celkem 3942 prvků typu „Tetrahedra“. Průběh napětí v držácích sedadla 5JT 881 126 B je patrný z obrázků 33 a 34, posunutí uzlů pak z obrázku 35.

Největší hodnota posunutí je 0,300 mm ve střední části levého držáku.

Napětí dosahuje nejvyšších hodnot okolo 100 MPa. Ke koncentraci napětí dochází zejména na hranách dvou krajních odlehčovacích otvorů v bocích držáků.

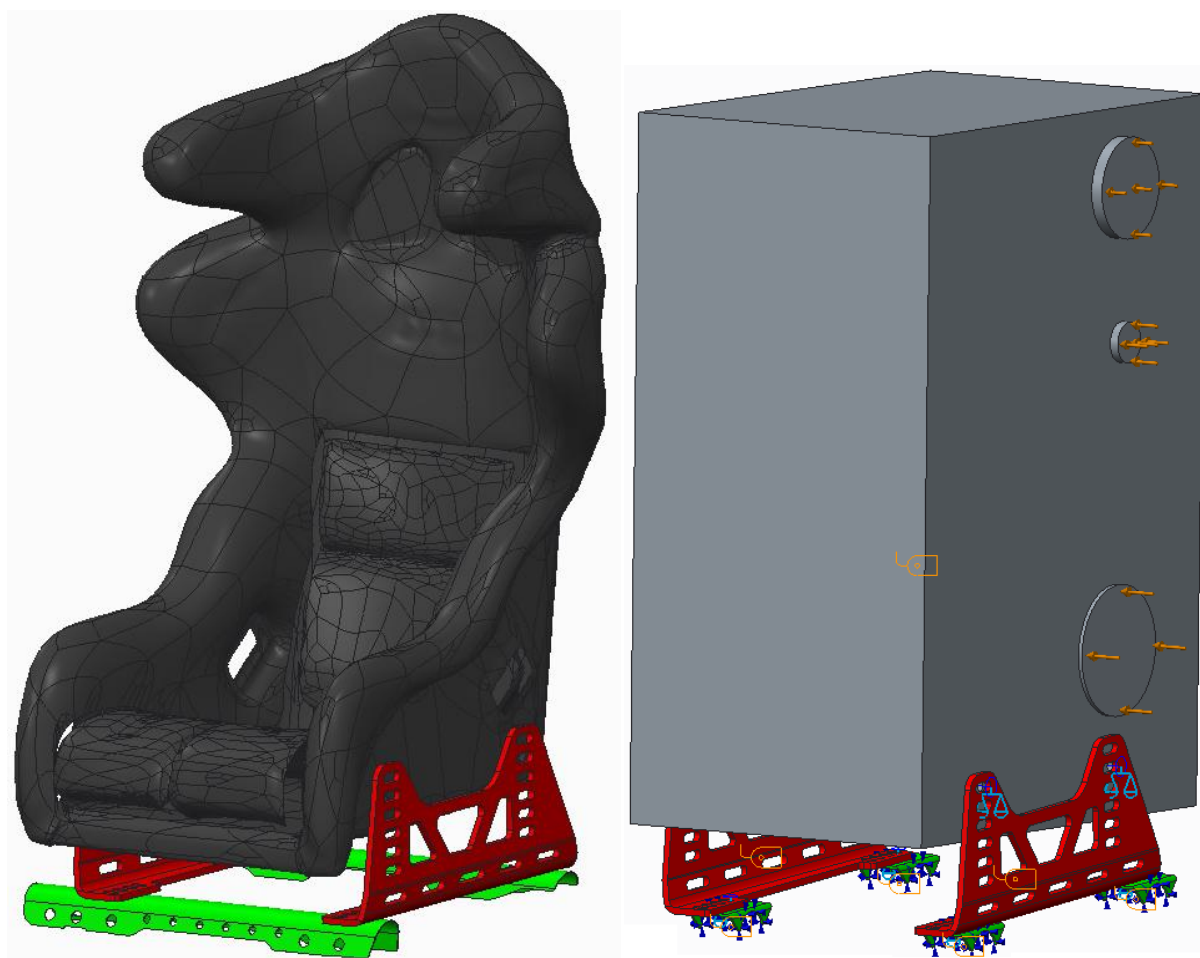
Hmotnost obou držáků vypočtená softwarem je 3018 g.

3.2.3 Držáky sedadla spolujezdce Mikko Markkuly

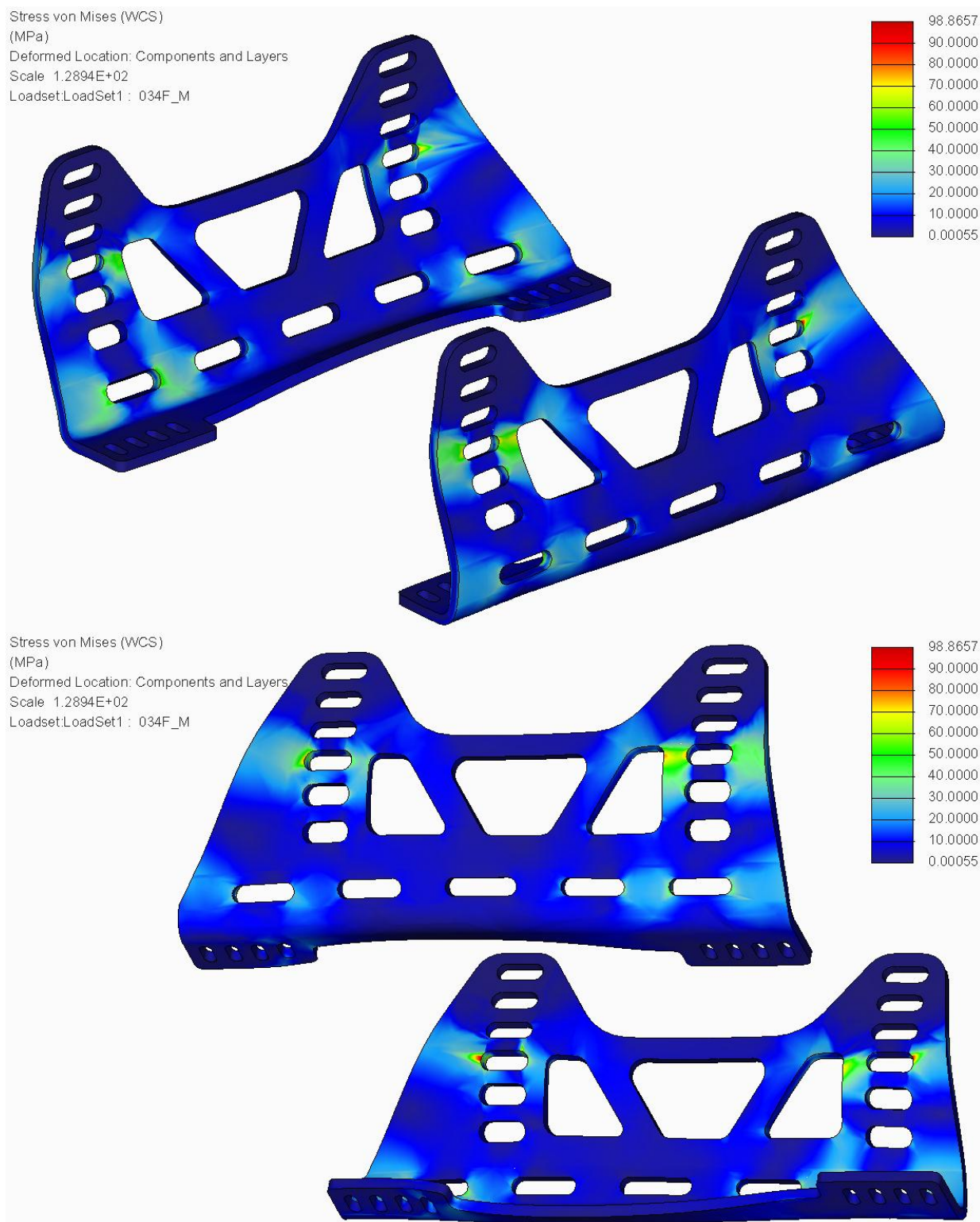
Mikko Markkula používá ve voze Škoda Fabia S2000 sedadlo SPARCO ADV-SCX s držáky, které mají v koncernu Volkswagen číslo dílu 5JT 881 034 F. Nastavení držáků pro spolujezdce Mikko Markkulu je patrné z tabulky 9 níže. Pozicí je myšleno pořadí díry nebo drážky, kterou je veden šroub, nebo do které je montován. Pro horizontální nastavení jsou díry počítány směrem od přední nápravy k zadní, pro vertikální nastavení shora dolů.

Smysl a místo nastavení	Pozice (horizontálně zepředu, vertikálně shora)
Horizontálně v držáku	4/4
Horizontálně v kotvících bodech	2/3
Vertikálně vpředu	1/6
Vertikálně vzadu	2/6

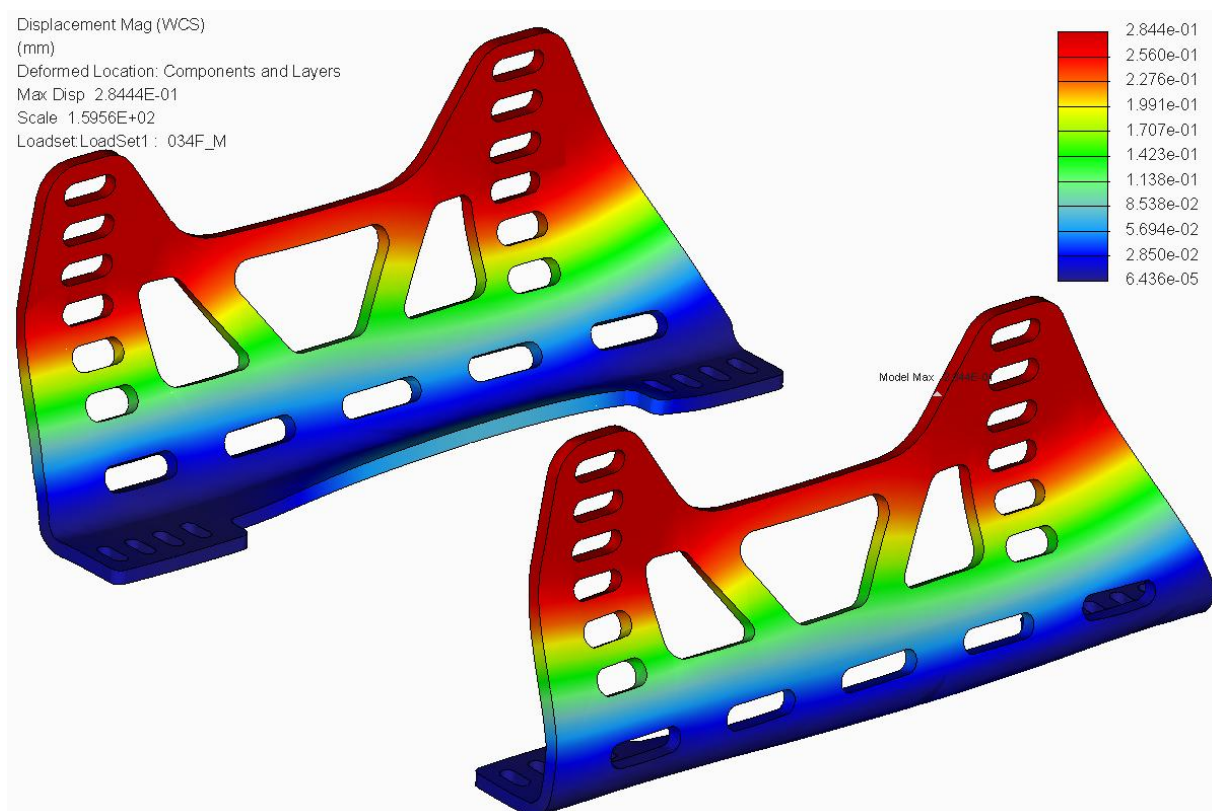
Tabulka 9: Nastavení držáků sedadla spolujezdce Mikko Markkuly



Obrázek 36: Přesný model soustavy sedadla Sparco s držáky 5JT 881 034 F a její model pro analýzu



Obrázek 37: Analýza rozložení napětí v držácích 5JT 881 034 F



Obrázek 38: Analýza posuvu uzlů v držácích 5JT 881 034 F

Síť konečných prvků tohoto modelu se skládá z celkem 5694 prvků typu „Tetrahedra“. Průběh napětí v držácích sedadla 5JT 881 034 F je patrný z obrázků 36 a 37, posunutí uzlů pak z obrázku 38.

Největší hodnota posunutí je 0,284 mm v horní části levého držáku.

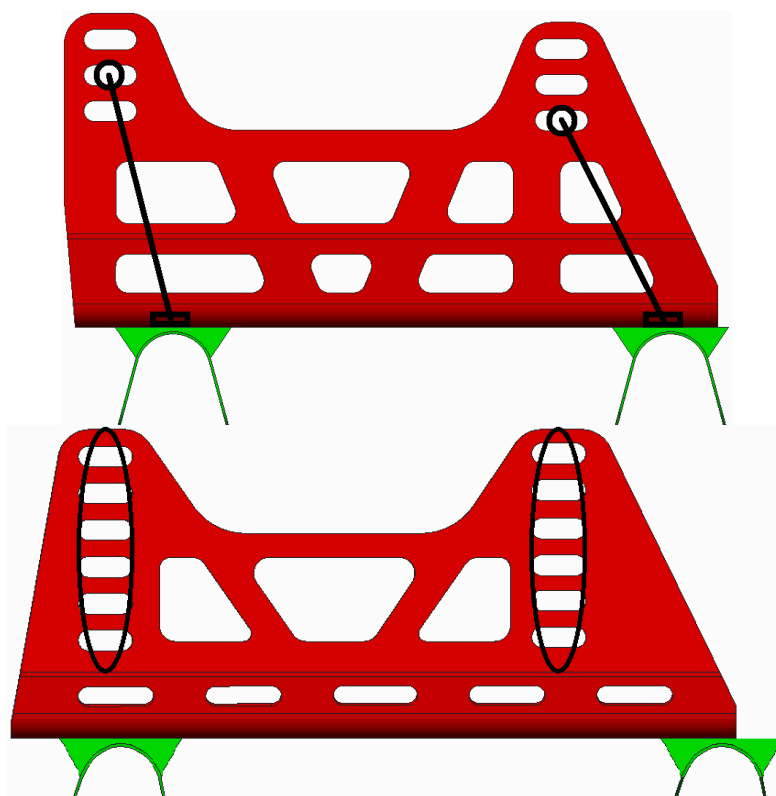
Napětí dosahuje nejvyšších hodnot okolo 100 MPa. Ke koncentraci napětí dochází zejména na hranách otvorů pro připevnění sedadla a na hranách odlehčovacích otvorů ve spodní části držáků.

Hmotnost obou držáků vypočtená softwarem je 2774 g.

3.2.4 Závěry z analýzy stávajících držáků sedadel

Úkolem pevnostní analýzy stávajících držáků sedadel vozu ŠKODA Fabia S2000 bylo především určit nedostatky jejich konstrukce a tím připravit doporučení pro návrh inovovaných držáků (viz kapitola 4), které by dané nedostatky zohledňovaly a eliminovaly.

Z průběhů napětí ve všech třech testovaných držácích v daných konfiguracích se ukázalo, že k hromadění napětí dochází zejména na hranách otvorů v bocích držáků, které slouží k odlehčení součásti. Otvory jsou ovšem navrženy v místech, která k tomu nejsou vhodná a zbytečně tak snižují pevnost držáků. Těmito místy jsou především myšlené spojnice šroubů, kterými je připevněno sedadlo, a nejbližších šroubů, kterými je přichycen držák se sedadlem do příčnicku v karoserii (viz obrázek 39 nahoře).



Obrázek 39: Ilustrace kritických míst v konstrukci držáků sedadla

Podobná situace nastává díky přebytku drážek pro vertikální nastavení sedadla u držáku 5JT 881 034 F (viz obrázek 39 dole). Ty v kritických místech opět zeslabují konstrukci a na jejich hranách se hromadí napětí. Nejspodnější z nich navíc nejsou využitelné z důvodu kolize sedadla s jinými součástmi.

Opačným problémem je pak předimenzování střední oblasti držáků, zejména pak její spodní části. Ta přenáší jen málo z celkového zatížení bočními silami a zvyšuje hmotnost celého dílu.

Prostor pro optimalizaci je také v celkové výšce držáků. Členové posádek využívají většinou horní drážky pro vertikální nastavení sedadla. Vzdálenost sedadla od příčníků v karoserii je pak velká a držáky musí být vysoké. Aby si zachovaly pevnost, jejich tloušťka je oproti minimu daném Článkem 253-2013 o 3 mm větší. Tím se zvyšuje hmotnost dílů. Řešením by byla úprava umístění příčníků v karoserii a tedy snížení výšky držáků.

Další oblastí vhodnou pro úpravy jsou kotvící body držáků. Ty jsou přivařené na příčnících v karoserii. Umístění těchto příčníků se zdá být zejména na místě spolujezdce nevhodné. Držáky 5JT 881 126 B zde má Pavel Dresler i Janne Ferm umístěné co nejvíce směrem dopředu. Toto nastavení pak způsobuje při bočním zatížení soustavy díky malé styčné ploše kroucení spodní části držáku. K zamyšlení je i vzájemná vzdálenost příčníků. Ta ovlivňuje délku držáků a tím i jejich hmotnost.

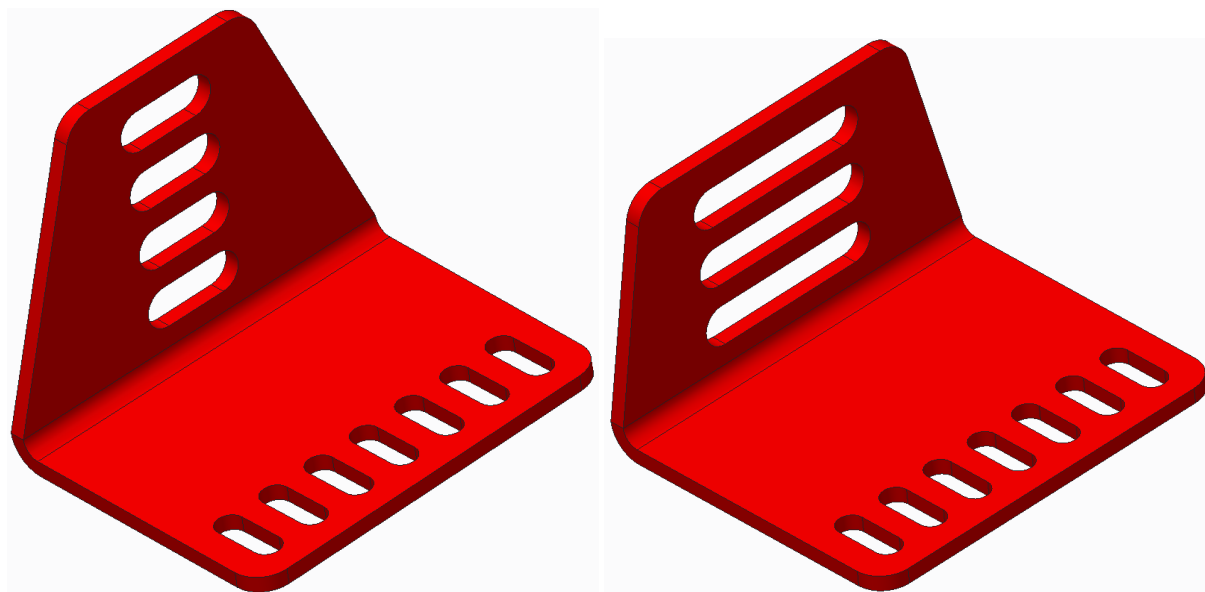
4. Návrh a analýza inovovaných držáků sedadel soutěžního vozu

V této kapitole diplomové práce je představen návrh inovovaných držáků sedadel vozu ŠKODA Fabia S2000. Je zde vysvětlen způsob, jakým se ke konečné podobě jejich konstrukce dospělo. Dále je uvedeno porovnání nastavení stávajících a inovovaných držáků pro jednotlivé členy posádek a porovnání celkových rozsahů jejich možných nastavení. Poté jsou uvedeny výsledky z pevnostní analýzy sestav držáků a sedadel v různých nastaveních. Nakonec jsou z analýz vyvozeny závěry a je provedeno porovnání inovovaných držáků sedadel s těmi stávajícími.

4.1 Konstrukční návrh inovovaných držáků sedadel

Konstrukční zpracování inovovaných držáků sedadel vychází z výsledků analýzy stávajících držáků (viz kapitola 3.2.4). Byl kladen důraz především na odstranění nedostatků v jejich konstrukci i v konstrukci a umístění kotvicích bodů. Dále byla snaha o snížení hmotnosti a zvýšení tuhosti nového řešení uchycení sedadel. V neposlední řadě bylo nutné zachovat – nebo lépe zvětšit – rozsah možných výškových a horizontálních nastavení sedadel. To vše při vyloučení kolizí jednotlivých dílů s jinými částmi vozu.

Systém inovovaného uchycení se pro každé sedadlo sestává ze čtyř samostatných držáků tvaru písmene „L“ (viz obrázek 40).



Obrázek 40: Inovované držáky sedadel SPARCO (vlevo) a Recaro (vpravo)

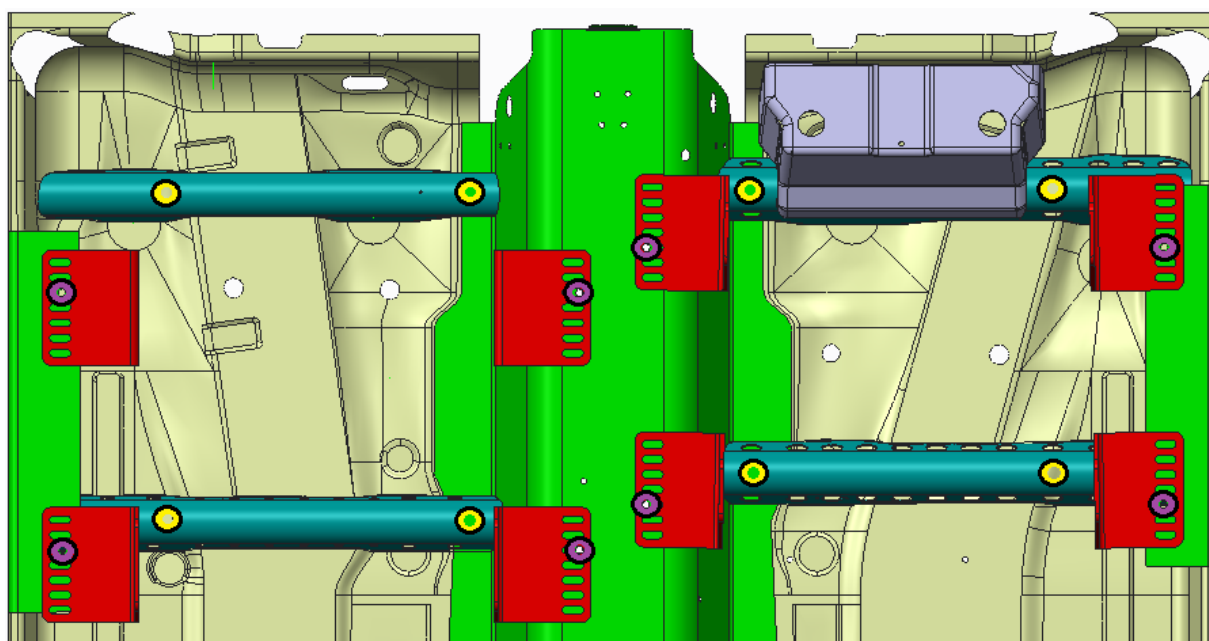
Držáky se liší podle typu sedadla. Kvůli lichoběžníkovému tvaru základny sedadel SPARCO ADV-SCX a ADV-SCX H je nutné použití sady čtyř odlišných držáků. Oproti tomu pro uchycení sedadel Recaro Pro Racer Ultima 1.0 nebo Pro Racer Ultima XL lze použít sadu čtyř identických držáků. Výrobní výkresy držáků jsou součástí této diplomové práce formou příloh. Všechny držáky jsou vyrobeny ohýbáním duralového plechu o tloušťce 7 mm. Materiál použitého plechu je EN AW 2017 (viz tabulka 5). Úhel ohybu je 90°, vnější poloměr ohybu je 10 mm a vnitřní 3 mm. Minimální vnitřní poloměr ohybu je přitom dán empirickým vztahem uvedeným níže. Ve vztahu značí t tloušťku ohýbaného materiálu. Materiálová konstanta c má pro hliníkové slitiny hodnotu 0,35 a platí pro ideální povrch a nepříznivý případ ohybu ve směru vláken materiálu. (17)

$$r_{o_{min}} = c \times t = 0,35 \times 7 = 2,45 \text{ mm}$$

Poloměr ohybu o velikosti 3 mm je tedy bezpečně větší, než vypočtený minimální poloměr o hodnotě 2,45 mm. Reálný výsledek je ale závislý na více parametrech, jako je plastičnost materiálu, způsob ohýbání nebo kvalita povrchu. Teoretický výpočet je nutno ověřit experimentálně. (17)

Držáky se montují do kotvících bodů, které jsou přímo na karoserii soutěžního vozu. Na vnitřní straně jsou kotvící body umístěny na středovém tunelu. Každý tvoří výztuha z ocelového plechu tloušťky minimálně 3 mm, která je přivařena na vrchní ploše tunelu ze spodní strany vozu. V ní je vytvořena závitová díra M8, do které se skrze otvor v tunelu montuje šroub upevňující držák. Na vnější straně pak tvoří kotvící body konstrukce z ocelového plechu, které jsou přivařeny do karoserie v místě prahů a sloupku dveří. Na jejich vrchních plochách jsou opět přivařené výztuhy z ocelového plechu tloušťky alespoň 3 mm se závitovými dírami M8 pro montáž šroubů upevňujících držáky. Tvar všech výztuh by měl být takový, aby kotvící body, které tvoří, splňovaly podmínky Článku 253-2013 (1) (viz kapitola 2.1.2). Šrouby zůstávají velikosti M8 s šestihrannou hlavou, jakostní třídy 8.8.

Kotvící body byly také přesunuty podle podélné osy vozidla tak, aby při zachování rozsahu možného horizontálního i výškového nastavení byla co nejmenší vzdálenost mezi šroubem, kterým je upevněn držák do karoserie a šroubem připevňujícím sedadlo k držáku. Toto řešení umožnilo značně redukovat velikost držáků a tím i jejich hmotnost. Na obrázku 41 a v tabulce 10 níže je rozdíl v kotvících bodech mezi stávajícím a inovovaným řešením znázorněn.



Obrázek 41: Porovnání umístění kotvicích bodů u stávajícího (žlutě) a inovovaného (fialově) řešení

Vzdálenost kotvicích bodů	Stávající [mm]	Inovované [mm]
Zadních od konce tunelu podélně (pilot)	183	247
Předních od zadních podélně (pilot)	320	290
Zadních od vrchní plochy tunelu vertikálně (pilot)	106	0
Předních od vrchní plochy tunelu vertikálně (pilot)	106	0
Zadních od konce tunelu podélně (spolujezdec)	183	298
Předních od zadních podélně (spolujezdec)	370	290
Zadních od vrchní plochy tunelu vertikálně (spolujezdec)	145	0
Předních od vrchní plochy tunelu vertikálně (spolujezdec)	122	0

Tabulka 10: Porovnání umístění kotvicích bodů stávajícího a inovovaného řešení

V další tabulce je pak uvedeno porovnání možného výškového a horizontálního nastavení stávajících a inovovaných držáků sedadel. Oba druhy držáků disponují celkem sedmi drážkami pro horizontální nastavení sedadla. U typu 5JT 881 123B a inovovaných držáků pro sedadla Recaro je díky delším drážkám ve svislých plochách možné rozsah horizontálního nastavení zvětšit o 50 mm posouváním sedadla v těchto drážkách. U ostatních držáků, které jsou určeny pro sedadla značky SPARCO toto není kvůli lichoběžníkovému tvaru základny sedadla v takovém rozsahu možné a kratší drážky tu plní hlavně funkci pokrytí tolerancí a nepřesností montáže. U inovovaných držáků pro sedadla SPARCO jsou celkem čtyři drážky pro výškové nastavení, u inovovaných držáků sedadel Recaro pak tři. Oba typy držáků je možné montovat tak, že jejich svislé plochy jsou obrácené směrem ke stropu nebo k podlaze.

Tím se zvyšuje rozsah výškového nastavení sedadla. Držáky pro SPARCO je přitom nutné zaměnit pravý za levý a obráceně. Je také možné použít kombinaci těchto nastavení, například přední otočené směrem nahoru a zadní směrem dolů (viz např. obrázek 46). Šrouby pro připevnění sedadla do držáků zůstávají o velikosti M12 s šestihrannou hlavou, jakostní třídy 8.8.

Držáky sedadel	Horizontálně	Výškově vpředu	Výškově vzadu
Rozsah [mm] / Počet děr / Rozteč děr [mm]			
5JT 881 033 K (SPARCO)	57 / 4 / 19	46 / 3 / 23	46 / 3 / 23
5JT 881 034 F (SPARCO)	57 / 4 / 19	115 / 6 / 23	115 / 6 / 23
5JT 881 126 B (Recaro)	57 / 4 / 19	46 / 3 / 23	46 / 3 / 23
Inovované pro SPARCO	102 / 7 / 17	161 / 8 / 20	161 / 8 / 20
Inovované pro Recaro	102 / 7 / 17	121 / 6 / 20	121 / 6 / 20

Tabulka 11: Porovnání rozsahů výškového a horizontálního nastavení stávajících a inovovaných držáků

Konstrukce inovovaných držáků také umožnila významné snížení jejich hmotnosti v porovnání se stávajícím řešením. To je shrnuto v tabulce 12. Úsporu hmotnosti lze očekávat i u výztuh, které tvoří kotvící body. Jejich výsledná hmotnost ale závisí na jejich konečné podobě.

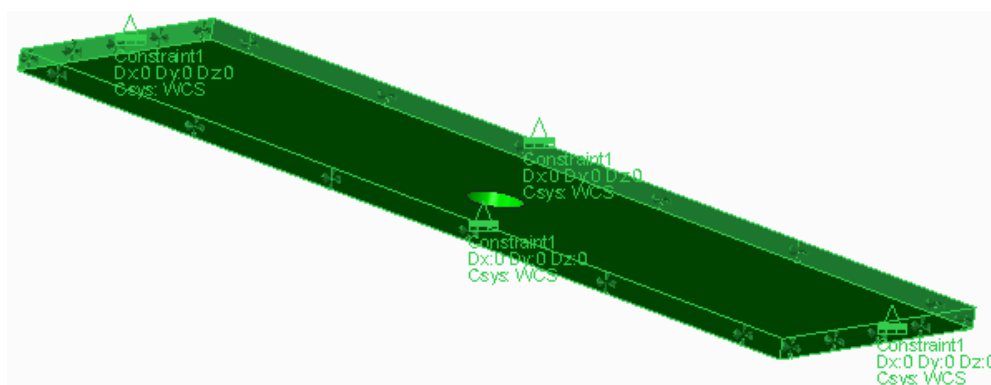
Držáky sedadel	Hmotnost stávajících [g]	Hmotnost inovovaných [g]	Úspora [%]
5JT 881 033 K (SPARCO)	2446	1444	41
5JT 881 034 F (SPARCO)	2774	1444	48
5JT 881 126 B (Recaro)	3018	1497	50

Tabulka 12: Porovnání hmotností stávajících a inovovaných držáků

4.2 Analýzy inovovaných držáků sedadel v konkrétních nastaveních

Parametry pevnostní analýzy soustav s inovovanými držáky jsou shodné jako v kapitole 3.1.2 (viz strany 30 až 36), což umožnilo vzájemně porovnatelné výsledky.

Modely sedadel jsou použité stejné jako v případě analýzy stávajících držáků. Parametrické 3D modely kotvících bodů jsou pak vymodelovány tak, aby co nejlépe simulovaly podmínky montáže inovovaných držáků do karoserie vozu. Tvoří je destička o tloušťce 3 mm a rozměrech 140 mm krát 40 mm se závitovou dírou M8 uprostřed největší plochy. Tyto destičky představují části výztuh, přivařených z vnitřní strany středového tunelu vozu a na konstrukcích na bočnicích vozu. Pro potřeby pevnostní analýzy jsou uvažovány pouze v této podobě. Zároveň jsou na ně v modelech soustav aplikovány geometrické okrajové podmínky. V místech, kde by měly být svařem spojeny s karoserií, jsou zadány okrajové podmínky zamezující posuvu příslušných uzlů ve směrech všech tří souřadných os (viz obrázek 42 níže).



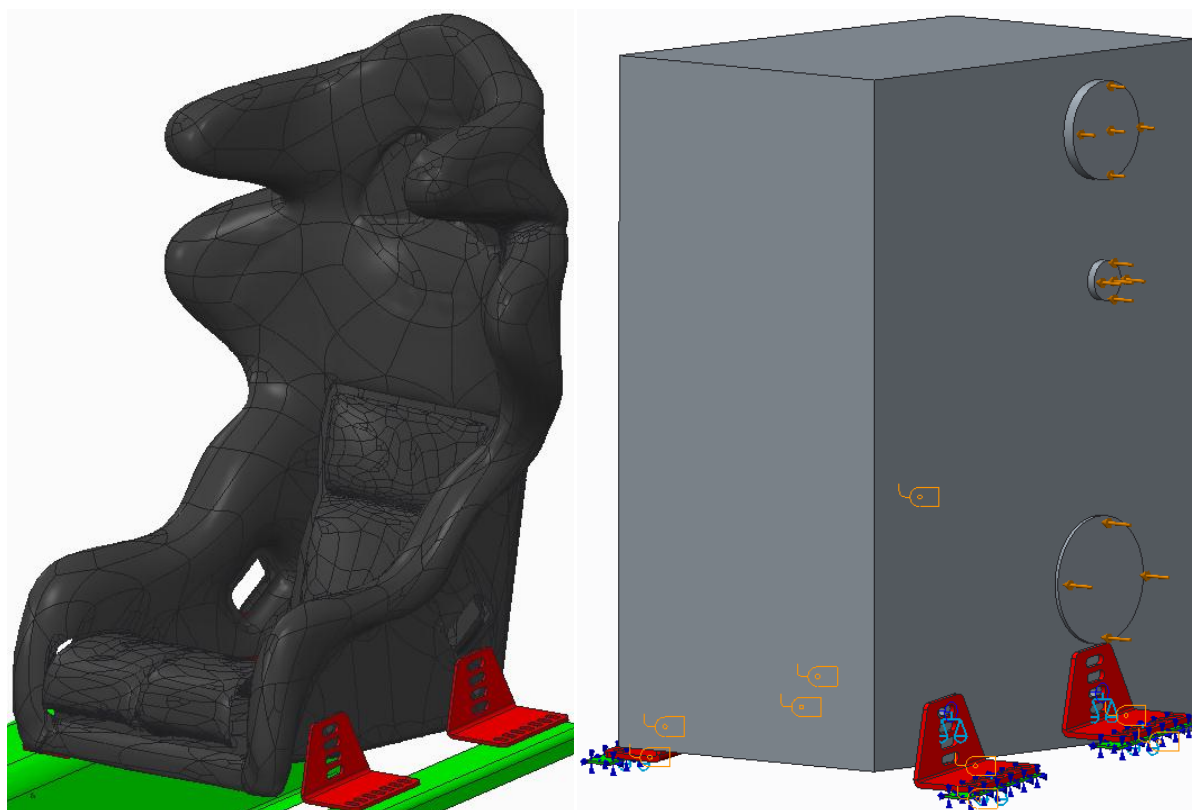
Obrázek 42: Geometrické okrajové podmínky na modelu kotvících bodů

4.2.1 Držáky sedadla pilotů Jana Kopeckého, Esa Pekka Lappiho a Juho Hänninena

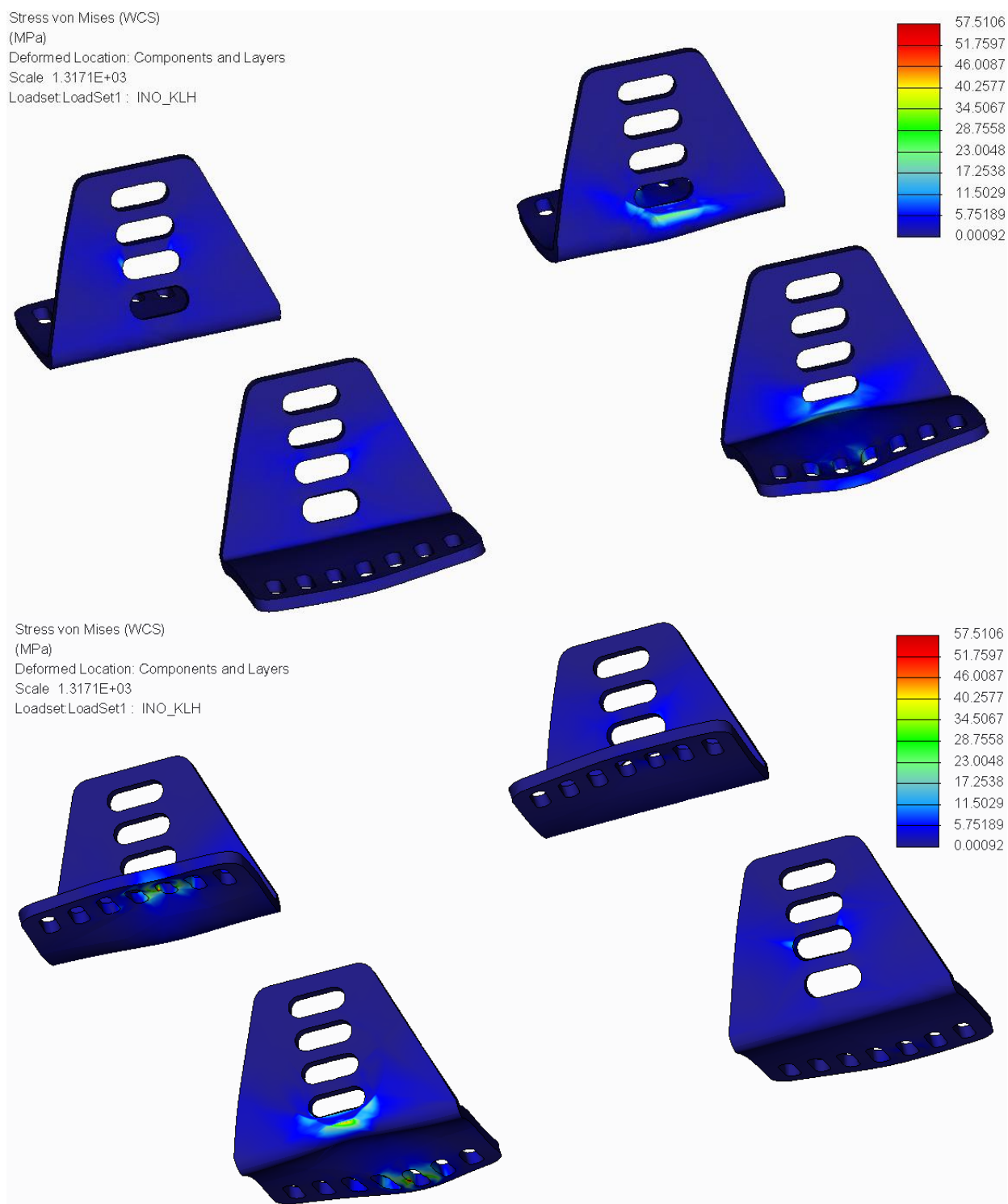
Nastavení inovovaných držáků pro piloty bylo vypočteno tak, aby poloha sedadla SPARCO ADV-SCX byla stejná jako při použití stávajících držáků 5JT 881 033 K. Nové nastavení je uvedeno v tabulce 13 níže. Pozicí je myšleno pořadí díry nebo drážky, kterou je veden šroub, nebo do které je montován. Pro horizontální nastavení jsou díry počítány směrem od zadní nápravy k přední, pro vertikální nastavení shora dolů.

Smysl a místo nastavení	Pozice (horizontálně zezadu, vertikálně shora)
Horizontálně v držáku	5/7
Vertikálně vpředu (držák otočen nahoru)	1/4
Vertikálně vzadu (držák otočen nahoru)	3/4

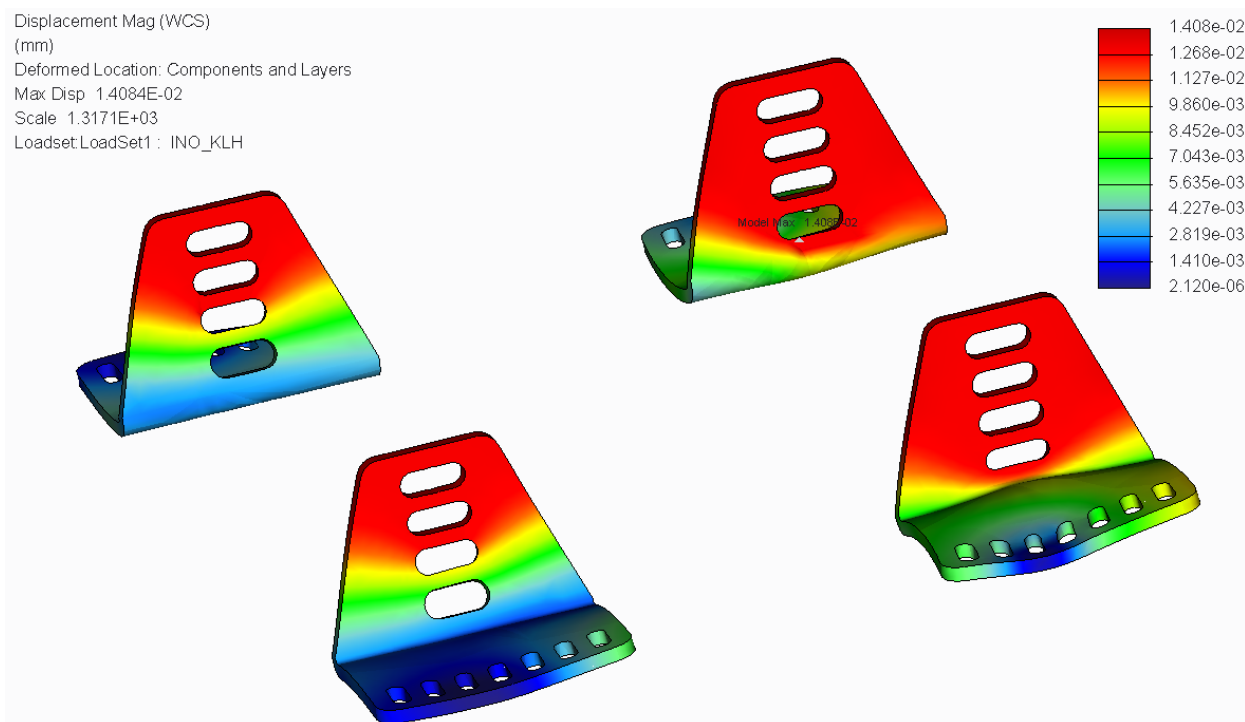
Tabulka 13: Nastavení držáků sedadla pilotů Jana Kopeckého, Esa Pekka Lappiho a Juho Hänninena



Obrázek 43: Přesný model soustavy sedadla SPARCO s inovovanými držáky a její model pro analýzu



Obrázek 44: Analýza rozložení napětí v inovovaných držácích



Obrázek 45: Analýza posuvu uzlů v inovovaných držácích

Síť konečných prvků tohoto modelu se skládá z celkem 3758 prvků typu „Tetrahedra“. Průběh napětí v inovovaných držácích sedadla je patrný z obrázků 43 a 44, posunutí uzlů pak z obrázku 45.

Největší hodnota posunutí je 0,014 mm na pravém zadním držáku.

Napětí dosahuje nejvyšších hodnot okolo 60 MPa. Ke koncentraci napětí dochází zejména v místech na zadních držácích, kde šrouby připevňují držáky ke kotvicím bodům.

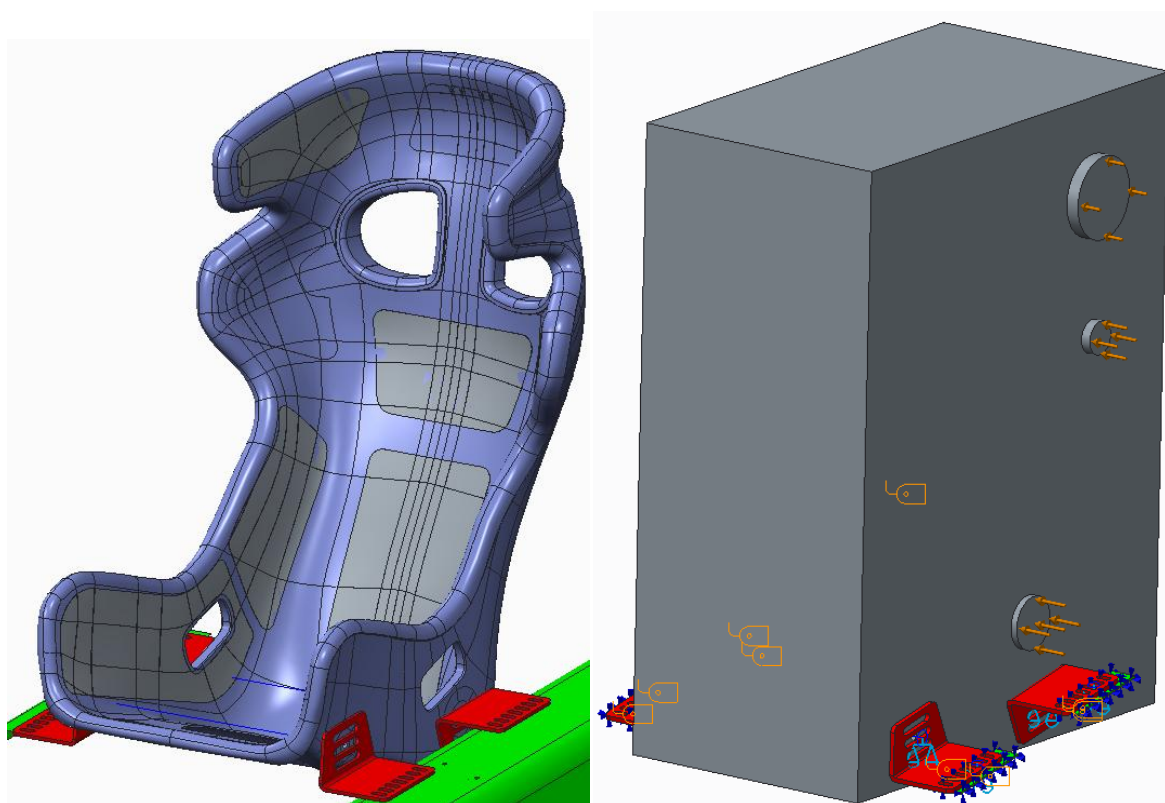
Hmotnost sady všech čtyř držáků vypočtená softwarem je 1444 g.

4.2.2 Držáky sedadla spolujezdce Pavla Dreslera a Janne Ferma

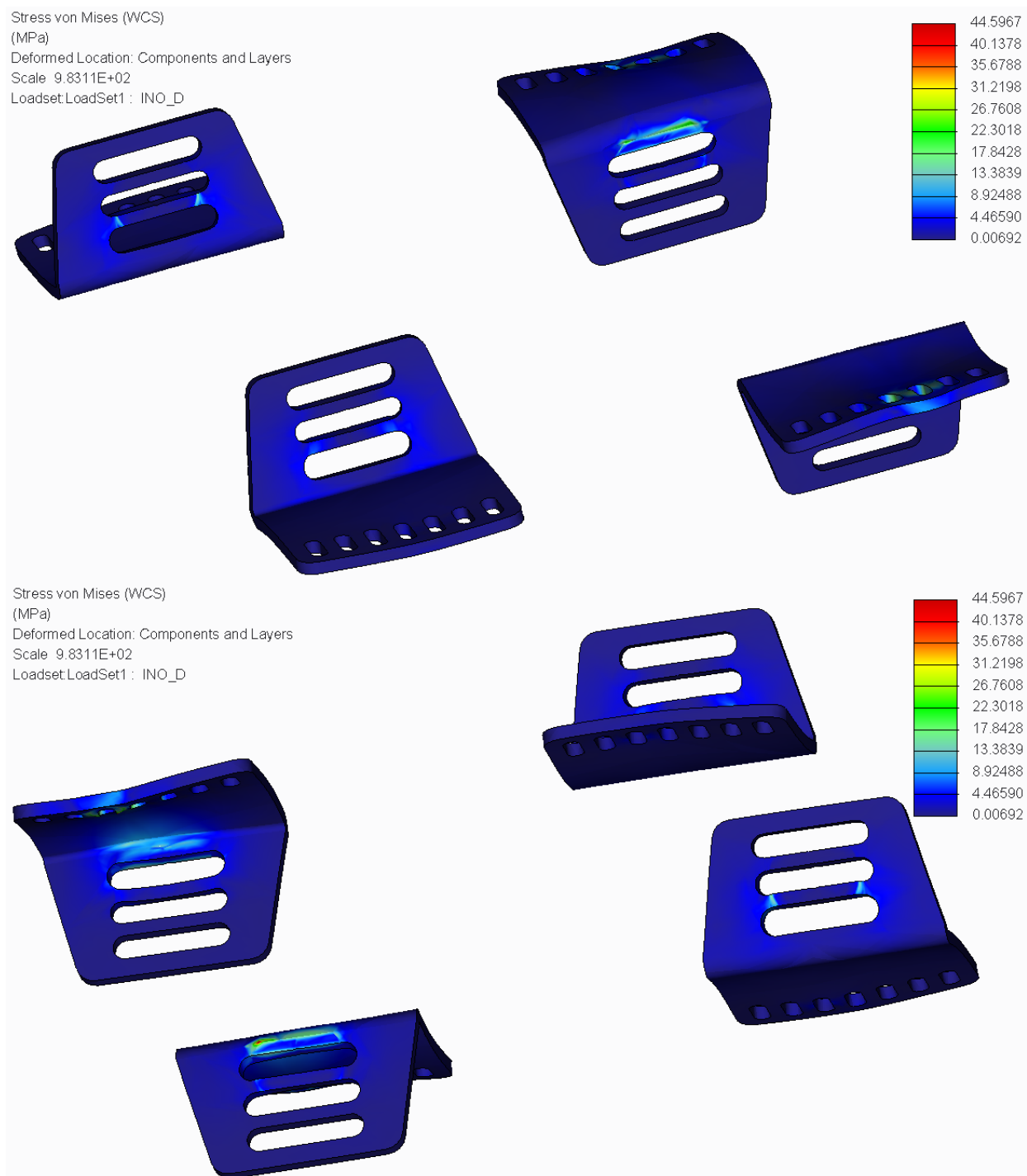
Výškové a horizontální nastavení inovovaných držáků bylo vypočteno tak, aby poloha sedadla Recaro Pro Racer Ultima 1.0 odpovídala jeho poloze při použití stávajících držáků 5JT 881 126 B. Nové nastavení pro spolujezdce Pavla Dreslera a Janne Ferma je uvedeno v tabulce 14 níže. Podobně jako v kapitole 3.2.2 je analýza provedena podle nastavení Pavla Dreslera, protože toto je z hlediska zatěžování bočními silami méně příznivé. Pozicí je myšleno pořadí díry nebo drážky, kterou je veden šroub, nebo do které je montován. Pro horizontální nastavení jsou díry počítány směrem od zadní nápravy k přední, pro vertikální nastavení shora dolů.

Smysl a místo nastavení	Pozice (horizontálně zezadu, vertikálně shora)
Horizontálně v držáku	3/7
Vertikálně vpředu (držák otočen nahoru)	2/3
(1. Dresler, 2. Ferm)	3/3
Vertikálně vzadu (držák otočen dolů)	1/3

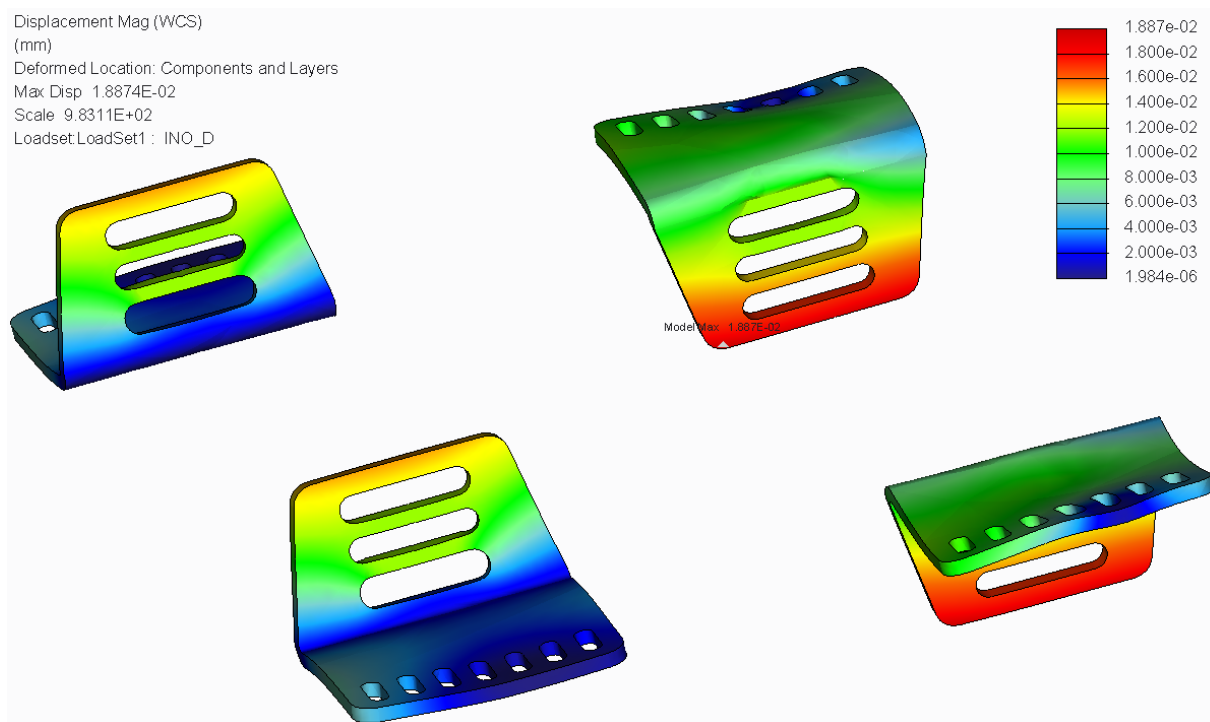
Tabulka 14: Nastavení držáků sedadla spolujezdce Pavla Dreslera



Obrázek 46: Přesný model soustavy sedadla Recaro s inovovanými držáky a její model pro analýzu



Obrázek 47: Analýza rozložení napětí v inovovaných držácích



Obrázek 48: Analýza posuvu uzlů v inovovaných držácích

Síť konečných prvků tohoto modelu se skládá z celkem 3246 prvků typu „Tetrahedra“. Průběh napětí v inovovaných držácích sedadla je patrný z obrázků 46 a 47, posunutí uzlů pak z obrázku 48.

Největší hodnota posunutí je 0,019 mm v horní části pravého zadního držáku.

Napětí dosahuje nejvyšších hodnot okolo 50 MPa. Ke koncentraci napětí dochází opět zejména v místech na zadních držácích, kde šrouby připevňují držáky ke kotvicím bodům a dále v místech styku zadních držáků se sedadlem.

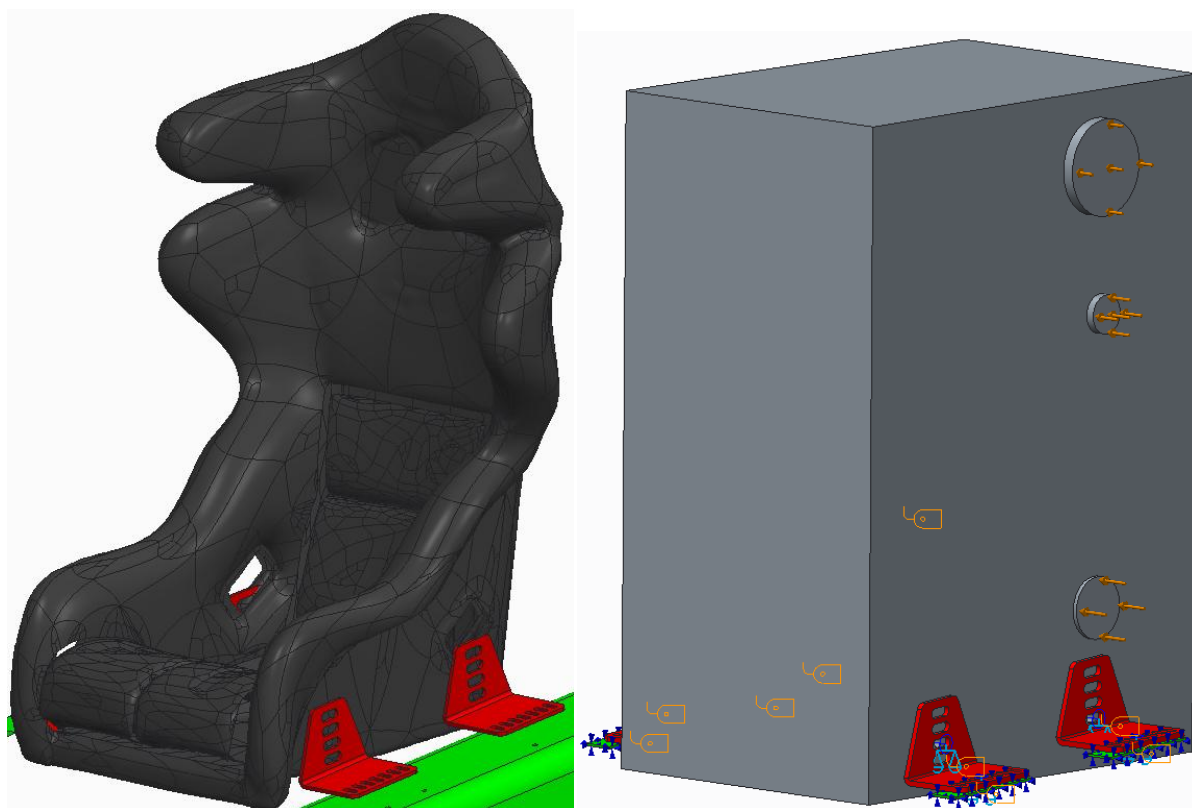
Hmotnost sady všech čtyř držáků vypočtená softwarem je 1497 g.

4.2.3 Držáky sedadla spolujezdce Mikko Markkuly

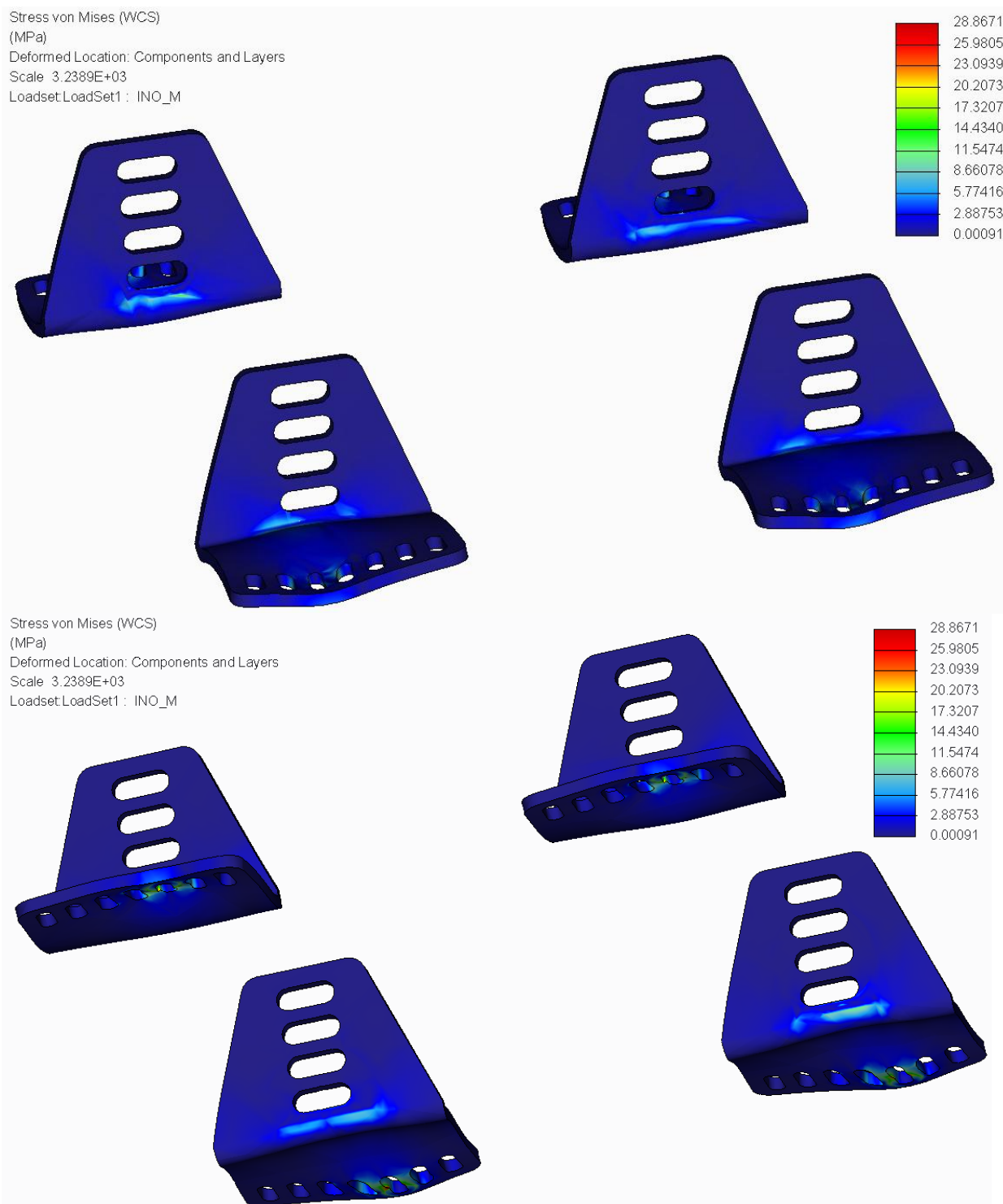
Vypočtené nastavení inovovaných držáků sedadla SPARCO ADV-SCX Mikko Markkuly je uvedeno v tabulce 15 níže. Poloha sedadla by přitom měla být shodná s polohou danou použitím stávajících držáků 5JT 881 034 F. Pozicí je myšleno pořadí díry nebo drážky, kterou je veden šroub, nebo do které je montován. Pro horizontální nastavení jsou díry počítány směrem od zadní nápravy k přední, pro vertikální nastavení shora dolů.

Smysl a místo nastavení	Pozice (horizontálně zezadu, vertikálně shora)
Horizontálně v držáku	5/7
Vertikálně vpředu (držák otočen nahoru)	3/4
Vertikálně vzadu (držák otočen nahoru)	4/4

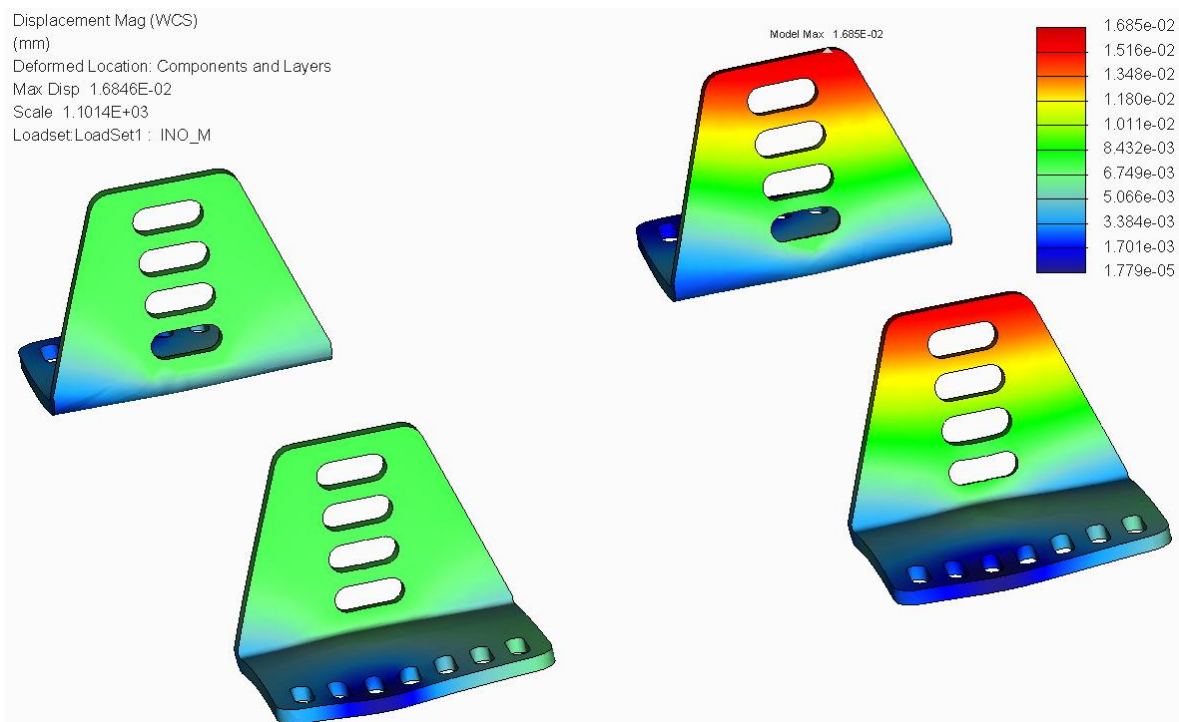
Tabulka 15: Nastavení držáků sedadla spolujezdce Mikko Markkuly



Obrázek 49: Přesný model soustavy sedadla SPARCO s inovovanými držáky a její model pro analýzu



Obrázek 50: Analýza rozložení napětí v inovovaných držácích



Obrázek 51: Analýza posuvu uzlů v inovovaných držácích

Síť konečných prvků tohoto modelu se skládá z celkem 3807 prvků typu „Tetrahedra“. Průběh napětí v inovovaných držácích sedadla je patrný z obrázků 49 a 50, posunutí uzlů pak z obrázku 51.

Největší hodnota posunutí je 0,017 mm v horní části pravého zadního držáku.

Napětí dosahuje nejvyšších hodnot pouze okolo 30 MPa. Ke koncentraci napětí dochází zejména v místech na zadních držácích, kde šrouby připevňují držáky ke kotvicím bodům.

Hmotnost sady všech čtyř držáků vypočtená softwarem je 1444 g.

5. Závěr

Tuto diplomovou práci jsem vypracoval během odborné praxe v oddělení ŠKODA Motorsport (TS) firmy ŠKODA Auto a.s podle zadání, které vydala Technická univerzita v Liberci.

Nejprve jsem provedl rešerši legislativních požadavků platných v této oblasti. Ty tvoří především předpisy vydávané Mezinárodní automobilovou federací FIA. Pro kategorii vozů světových rallye je to konkrétně Článek 253-2013 (Article 253-2013 Safety Equipment) (1), který specifikuje požadavky na bezpečnostní vybavení soutěžních vozů – tedy také na držáky sedadel, kotvící body i samotná sedadla. Proces homologace sedadel je pak do detailů popsán ve FIA standardech 8855-1999 (2) a 8862-2009 (3). Z podmínek zkoušek sedadel s držáky popsané ve FIA standardu 8862-2009 vychází metodika simulace bočního nárazu pomocí metody konečných prvků. Tuto metodiku jsem použil pro analýzu stávajících i inovovaných držáků sedadel (viz kapitoly 3 a 4). V kapitole 2 jsem dále rozebral konkrétní technická řešení držáků sedadel některých soutěžních vozů různých kategorií a výrobců a především stávající řešení použité u vozu ŠKODA Fabia S2000.

Následně jsem provedl pevnostní analýzu stávajících držáků sedadel vozu ŠKODA Fabia S2000, jejíž výsledky jsou prezentovány v kapitole 3. Úkolem této analýzy bylo určit nedostatky konstrukce a tím připravit doporučení pro návrh inovovaných držáků, které by dané nedostatky eliminovaly. Prostor pro optimalizaci jsem našel v několika oblastech. Předně je to umístění kotvících bodů držáků, které se zdá být zejména na místě spolujezdce nevhodné. Kvůli tomuto řešení musí být držáky vysoké. Aby si zachovaly pevnost, jejich tloušťka je oproti minimu daném Článkem 253-2013 o 3 mm větší, čímž se významně zvyšuje i jejich hmotnost.

Konstrukce, umístění, rozsah nastavení a další parametry inovovaných držáků sedadel jsou rozebrány na začátku čtvrté kapitoly. Upustil jsem od konceptu mnoha různých sad dvou větších držáků. Místo nich jsem pro každý typ sedadla navrhl jednu sadu univerzálních držáků sestávající ze 4 kusů. Díky své konstrukci poskytují tyto inovované držáky větší rozsah výškového i horizontálního nastavení než všechny stávající držáky (viz tabulka 11 na straně 52). Toto řešení je podmíněné změnou umístění kotvících bodů. Ty jsem přesunul z příčniců přivařených k podlaze na středový tunel vozu a na vnějších stranách na konstrukce přivařené do bočnic vozu (viz obrázek 41 na straně 51). Tyto nové kotvící body mají od těch stávajících

také odlišné umístění v podélném směru. Jejich pozice jsem zvolil tak, aby možné nastavení držáků v nich upevněných umožňovalo na místě pilota i spolujezdce co největší škálu různých nastavení sedadel SPARCO i Recaro. Dále jsem změnil vzdálenost mezi zadními a předními kotvícími body v podélném směru. Ta nově činí 290 mm a rovná se tedy vzdálenosti mezi předními a zadními závitovými vložkami v obou typech sedadel. Díky tomu bylo možné navrhnout pro sedadlo Recaro univerzální držák, který je v jedné sadě použit čtyřikrát. Držáky na předních, zadních, levých i pravých pozicích jsou tedy zaměnitelné. U sedadla SPARCO toto nebylo kvůli tvaru základny možné a proto je v jeho sadě na každé pozici nutno použít specifický držák. Nové umístění kotvících bodů dále umožnilo významné zmenšení velikosti držáků a tím až 50% snížení jejich hmotnosti (viz tabulka 12 na straně 52). Kromě radikální redukce hmotnosti samotných držáků lze očekávat výraznou úsporu i u výztuh, které tvoří kotvící body. Vše ale závisí na jejich finální podobě.

Dále jsem v kapitole 4 provedl pevnostní analýzu inovovaných držáků sedadel. Ta se řídila stejnou metodikou, jaká byla aplikována i na analýzy v kapitole 3. Držáky byly přitom nastaveny tak, aby poloha sedadla byla stejná jako při použití stávajících držáků. Výsledné posuvy uzlů i napětí v součástech jsou ve všech případech u inovovaného řešení nižší. Nikde již také nebyla pozorována kritická místa, ve kterých by docházelo k hromadění napětí tak, jako tomu bylo u odlehčovacích otvorů ve stávajících držácích.

Celkově hodnotím nové řešení upevnění sedadel v soutěžním voze ŠKODA Fabia S2000 jako přínosné zejména z hlediska jeho univerzálnosti. Pro každý z obou typů sedadel stačí pouze jedna sada držáků, která pokryje celý potřebný rozsah jeho nastavení, a to jak na místě pilota, tak spolujezdce. Dalším důležitým faktorem je úspora hmotnosti. To je u soutěžních vozů ostře sledovaný údaj. Zvyšování výkonů vozu je totiž ve většině případů v přímé souvislosti s redukcí jeho hmotnosti. V neposlední řadě je dle mého názoru přínosem také jednoduchá montáž a demontáž sedadel s držáky. Oproti stávajícímu řešení je k upevňovacím šroubům snadný přístup.

Citovaná literatura

1. **FIA.** Article 253 (2013) Safety Equipment (Groups N, A). *Fédération Internationale de l'Automobile*. [Online] 11. Březen 2013. [Citace: 12. Březen 2013.] http://www.fia.com/sites/default/files/regulation/file/253%20%2813-14%29_08.03.2013.pdf.
2. —. FIA Standard 8855-1999 for Competition Seats. *Federation Internationale de l'Automobile*. [Online] 9. Prosinec 2011. [Citace: 8. Únor 2013.] http://www.fia.com/sites/default/files/regulation/file/8855-1999_Competition_seat.pdf.
3. —. FIA Standard 8862-2009 - Advanced Racing Seats. *Federation Internationale de l'Automobile*. [Online] 5. Prosinec 2012. [Citace: 11. Únor 2013.] http://www.fia.com/sites/default/files/regulation/file/8862-2009_Advanced_Racing_Seat.pdf.
4. **Wikipedia.** World Rally Championship. *Wikipedia*. [Online] 9. Březen 2013. [Citace: 12. Březen 2013.] http://en.wikipedia.org/wiki/World_Rally_Championship.
5. —. European Rally Championship. *Wikipedia*. [Online] 2. Březen 2013. [Citace: 12. Březen 2013.] http://en.wikipedia.org/wiki/European_Rally_Championship.
6. **NetCarShow.** Peugeot 208 R5 Rally car. *NetCarShow.com*. [Online] [Citace: 19. Únor 2013.] http://www.netcarshow.com/peugeot/2013-208_r5_rally_car/.
7. **FIA.** *Homologation Form Peugeot 208*. [Dokument] Geneve : autor neznámý, 2013.
8. **Froněk, Honza.** Loeb s Citroënem DS3 S2000 na Monte. *Rally-Mania.cz*. [Online] 22. Prosinec 2009. [Citace: 21. Únor 2013.] <http://www.rally-mania.cz/news.php?id=8429>.
9. **FIA.** *Homologation Form Citroën DS3*. [Dokument] Geneve : autor neznámý, 2010.
10. **Vojtěchovský, Radek.** Fiesta S2000 poprvé v ostrém nasazení. *Rally-Mania.cz*. [Online] 24. Listopad 2009. [Citace: 25. Únor 2013.] <http://www.rally-mania.cz/news.php?id=8310>.
11. **FIA.** *Homologation Form Ford Fiesta RS*. [Dokument] Geneve : autor neznámý, 2011.
12. **Škoda Auto a.s.** Škoda Fabia S2000 . *Škoda Motorsport*. [Online] [Citace: 27. Únor 2013.] <http://new.skoda-auto.com/cs/motorsport/cars>.
13. **SPARCO.** Racing Catalogue. *SPARCO*. [Online] [Citace: 28. Únor 2013.] <http://www.sparco.it/en/catalogue/>.
14. **Recaro Automotive GmbH & Co. KG.** Recaro Pro Racer Ultima 1.0. *Recaro*. [Online] [Citace: 5. Březen 2013.] <http://www.recaro-automotive.com/en/product-areas/motorsport/products/recaro-pro-racer-ultima-10.html>.
15. **Gleich Aluminium.** Technický datový list. *EN AW 2017*. [Online] [Citace: 13. Duben 2013.] <http://gleich.de/cz/produkty/vlcovan-desky/vlcovan-desky-en-aw-/en-aw-2017#sheet>.
16. —. Technický datový list. *EN AW 7019*. [Online] [Citace: 13. Duben 2013.] <http://gleich.de/cz/produkty/vlcovan-desky/al--walsplatten-beidseitig-gefraest/unidal#sheet>.
17. **Petruželka, Jiří a Březina, Richard.** *Úvod do tváření 2*. Ostrava : Vysoká škola báňská, 2001.

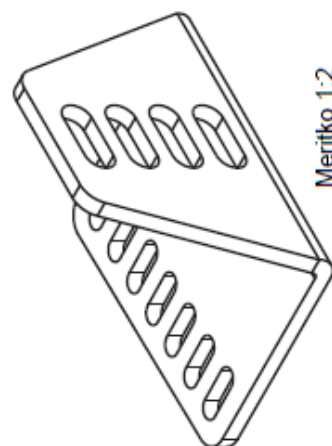
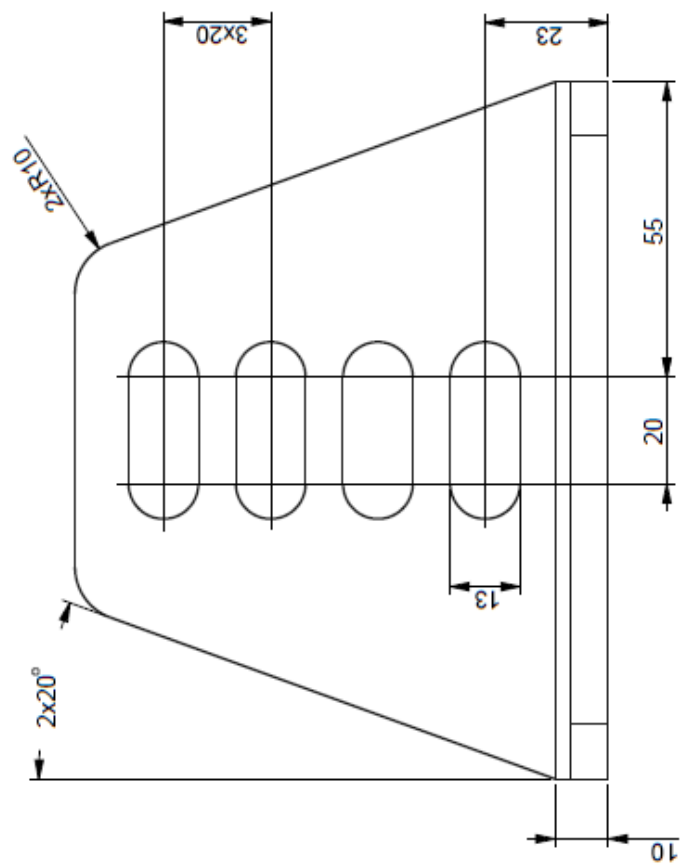
Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Uchycení sedadla s testovací figurínou na speciální podvozek dle FIA standardu 8855-1999 (2)</i>	<i>11</i>
<i>Obrázek 2: Místa zatížení sedadla při simulaci bočního nárazu dle FIA standardu 8862-2009 (3)</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 3: Místa zatížení sedadla při simulaci zadního nárazu dle FIA standardu 8862-2009 (3)</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 4: Místa zatížení sedadla při simulaci smáčknutí dle FIA standardu 8862-2009 (3)</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 5: Způsob uchycení držáků sedadel do karoserie vozu (1)</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 6: Způsob uchycení držáků sedadel pomocí sestavy nosníku (1).....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 7: Peugeot 208 (6).....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 8: Držák sedadla vozu Peugeot 208 (7)</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 9: Kotvící body držáků sedadel vozu Peugeot 208 (7)</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 10: Citroën DS3 S2000 (8)</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 11: Kotvící body držáků sedadel vozu Citroën DS3 S2000 (9).....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 12: Některé držáky sedadla vozu Citroën DS3 S2000 (9).....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 13: Ford Fiesta S2000 (10)</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 14: Držáky sedadla vozu Ford Fiesta S2000 (11).....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 15: Kotvící body držáků sedadel vozu Ford Fiesta S2000 (11).....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 16: ŠKODA Fabia S2000 (12)</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 17: Sedadlo SPARCO ADV-SCX (13)</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 18: Základní rozměry sedadel SPARCO ADV-SCX a ADV-SCX H (13).....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 19: Sedadlo Recaro Pro Racer Ultima 1.0 (14)</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 20: Základní rozměry sedadel Recaro Pro Racer Ultima 1.0 a Pro Racer Ultima XL (14)</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 21: Kotvící body držáků sedadel vozu ŠKODA Fabia S2000.....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 22: Některé držáky sedadla vozu ŠKODA Fabia S2000.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 23: Model držáku sedadla 5JT 881 033 K.....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 24: Model kotvícího bodu držáku sedadla</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 25: Přesné a zjednodušené modely sedadel.....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 26: Geometrické okrajové podmínky modelu sestavy.....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 27: Simulace spojení modelů součástí.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 28: Silové okrajové podmínky modelu sestavy.....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 29: Síť konečných prvků na modelu sestavy a detailní pohled na kotvící bod a část držáku sedadla</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 30: Přesný model soustavy sedadla SPARCO s držáky 5JT 881 033 K a její model pro analýzu</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 31: Analýza rozložení napětí v držácích 5JT 881 033 K</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 32: Analýza posuvu uzlů v držácích 5JT 881 033 K</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 33: Přesný model soustavy sedadla Recaro s držáky 5JT 881 126 B a její model pro analýzu</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 34: Analýza rozložení napětí v držácích 5JT 881 126 B</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 35: Analýza posuvu uzlů v držácích 5JT 881 126 B</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 36: Přesný model soustavy sedadla Sparco s držáky 5JT 881 034 F a její model pro analýzu</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 37: Analýza rozložení napětí v držácích 5JT 881 034 F.....</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 38: Analýza posuvu uzlů v držácích 5JT 881 034 F</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 39: Ilustrace kritických míst v konstrukci držáků sedadla</i>	<i>47</i>
<i>Obrázek 40: Inovované držáky sedadel SPARCO (vlevo) a Recaro (vpravo)</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 41: Porovnání umístění kotvících bodů u stávajícího (žlutě) a inovovaného (fialově) řešení</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 42: Geometrické okrajové podmínky na modelu kotvících bodů</i>	<i>53</i>
<i>Obrázek 43: Přesný model soustavy sedadla SPARCO s inovovanými držáky a její model pro analýzu</i>	<i>54</i>
<i>Obrázek 44: Analýza rozložení napětí v inovovaných držácích</i>	<i>55</i>
<i>Obrázek 45: Analýza posuvu uzlů v inovovaných držácích</i>	<i>56</i>
<i>Obrázek 46: Přesný model soustavy sedadla Recaro s inovovanými držáky a její model pro analýzu</i>	<i>57</i>
<i>Obrázek 47: Analýza rozložení napětí v inovovaných držácích</i>	<i>58</i>

<i>Obrázek 48: Analýza posuvu uzlů v inovovaných držácích</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 49: Přesný model soustavy sedadla SPARCO s inovovanými držáky a její model pro analýzu</i>	<i>60</i>
<i>Obrázek 50: Analýza rozložení napětí v inovovaných držácích</i>	<i>61</i>
<i>Obrázek 51: Analýza posuvu uzlů v inovovaných držácích</i>	<i>62</i>

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Zatížení a maximální posuvy při simulaci bočního nárazu dle FIA standardu 8862-2009 (3)</i>	<i>12</i>
<i>Tabulka 2: Zatížení a maximální posuvy při simulaci zadního nárazu dle FIA standardu 8862-2009 (3)</i>	<i>13</i>
<i>Tabulka 3: Materiálové vlastnosti modelů kotvicích bodů</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 4: Materiálové vlastnosti modelů sedadel</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 5: Materiálové vlastnosti materiálu EN AW 2017 (15)</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 6: Materiálové vlastnosti materiálu EN AW 7019 (16)</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 7: Nastavení držáků sedadla pilotů Jana Kopeckého, Esapekka Lappiho a Juho Hänninena</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 8: Nastavení držáků sedadla spolujezdců Pavla Dreslera a Janne Ferma</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 9: Nastavení držáků sedadla spolujezdce Mikko Markkuly</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 10: Porovnání umístění kotvicích bodů stávajícího a inovovaného řešení</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 11: Porovnání rozsahů výškového a horizontálního nastavení stávajících a inovovaných držáků</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka 12: Porovnání hmotností stávajících a inovovaných držáků</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka 13: Nastavení držáků sedadla pilotů Jana Kopeckého, Esapekka Lappiho a Juho Hänninena</i>	<i>54</i>
<i>Tabulka 14: Nastavení držáků sedadla spolujezdce Pavla Dreslera</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 15: Nastavení držáků sedadla spolujezdce Mikko Markkuly</i>	<i>60</i>



Meritko 1:2

Díl je symetrický

Roz. Pilot		Dělní 225x135x7 EN AW 2017				Přenosní	
		a)		Mokrá	EN AW 2017	Tr. úsp.	820
		b)		C. hm.	351 g	Ht. hm.	541 g
		a)					
Země			Index	Podtyp			
Model		Přev. Syst. slavného	Nové	Petrický Vojtěch			
1:1		1 ks 657-B	Kvalit	Petrický Vojtěch			
C. sekce		1 ks 657-C	Přenosní	Petrický Vojtěch			
C. sekce		1 ks 657-C	Technolog				
C. sekce		1 ks 657-C	Norma	Norma			
Stav yst.		1 ks 657-C	Schvál	Schvál			
Stav yst.		1 ks 657-C	Datum	24.2.2013			
			6	7	8		